

Trabajo Fin de Grado

Grado en Ingeniería de Tecnologías Industriales

Análisis energético de la modernización de la planta de desalación de agua de mar Lanzarote IV

Autor: Miguel Gutiérrez Cabanes

Tutora: Lourdes García Rodríguez

Dpto.de Ingeniería Energética
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla
Sevilla 2021



Trabajo Fin de Grado
Grado en Ingeniería de Tecnologías Industriales

Análisis energético de la modernización de la planta de desalación de agua de mar Lanzarote IV

Autor:
Miguel Gutiérrez Cabanes

Tutora:
Lourdes García Rodríguez
Catedrática de Máquinas y Motores Térmicos

Dpto. de Ingeniería Energética
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla
Sevilla, 2021

Trabajo Fin de Grado: Análisis energético de la modernización de la planta de desalación de agua de mar Lanzarote IV.

Autor: Miguel Gutiérrez Cabanes

Tutora: Lourdes García Rodríguez

El tribunal nombrado para juzgar el Proyecto arriba indicado, compuesto por los siguientes miembros:

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

El secretario del Tribunal

Fecha:

Agradecimientos

Una vez finalizado mi trabajo de fin de grado, sólo me queda agradecer a todas aquellas personas que me han apoyado enormemente y que han estado para ayudarme siempre en todo lo he necesitado.

Ante todo, agradecer la colaboración de mi tutora, Lourdes García Rodríguez, por su tiempo y paciencia conmigo. Sus conocimientos y experiencia sobre el tema que nos ocupa me han servido de gran ayuda para poder realizar este documento.

Reconocer también a mis amigos y familiares la ayuda que me han ofrecido en los buenos, malos y estresantes momentos durante todo mi recorrido en la Universidad y durante el desarrollo de este documento. Han sido un fuerte apoyo y pilar de comprensión, ternura y paciencia por lo que les estaré eternamente agradecido.

Miguel Gutiérrez Cabanes

Sevilla, 2021

Resumen

+A medida que el agua dulce continúa retrocediendo hacia partes inaccesibles de los acuíferos, especialmente en las regiones más vulnerables del mundo, los esfuerzos de investigación buscan constantemente nuevas formas de proporcionar agua potable de manera eficiente y rentable a partir de la desalación. Hasta hace poco, la desalación del agua de mar se limitaba a zonas donde los recursos de aguas superficiales y subterráneas eran y son escasos. Sin embargo, los desafíos del cambio climático y otras actividades antropogénicas han obligado sistemáticamente a la mayoría de las comunidades cercanas a la costa o montañas a recurrir a la desalación del agua de mar como medio para obtener el agua potable. En los últimos 20 años, los grandes avances en equipos de recuperación de energía y tecnología de membranas han reducido a la mitad la energía necesaria para desalinizar el agua de mar. La desalación de agua de mar ha tenido una evolución enorme en los últimos 50 años, de manera que la tecnología predominante en cada época ha ido variando hasta llegar a nuestros días, en los cuales la desalación mediante membranas de ósmosis inversa es claramente, la principal técnica utilizada.

El objetivo principal de este proyecto es la modernización de la planta de desalación por ósmosis inversa “Lanzarote IV” en Lanzarote, mediante la modernización de bombas de alta presión, sistemas de recuperación de energía y membranas.

Previo a la optimización de la planta, se exponen brevemente las diferentes técnicas y etapas del proceso de desalación y se realiza un estudio global de las tecnologías, plantas y capacidad actuales de desalación.

Este documento describe y simula la posible modernización de las actuales turbinas Pelton por líneas de recuperadores de energía PX ERI dentro de la planta de SWRO de Lanzarote IV. En general, se han simulado diversas situaciones, concluyendo que el diseño compuesto por una única etapa con elementos SW LG SW 440 GR para los trenes del 1 al 4 y el último tren con LG SW 400 R reúne las mejores ventajas para lograr una mejora sustancial de la producción y reducción de energía en la planta desaladora. Este diseño puede reducir el consumo de energía actual en un 55 % al reducir la presión de trabajo a 53,27 bar. La línea de tubos de presión diseñada con esta combinación de elementos da flexibilidad y permite incrementar la producción de permeado hasta un 7,2 % en el momento en que se requiere una mayor capacidad. Además, es posible reducir el número de PV ya que se elimina el segundo paso en más de 41.

Además, se analizan y describen hasta cuatro posibles modificaciones para los cinco trenes RO existentes. Como la desaladora de Lanzarote IV es una instalación que no dispone de espacios para ampliaciones, se recomienda la sustitución de las turbinas Pelton por ERD isobáricas conectada a cada tren RO para los trenes RO núms. 1 a 5. El requerimiento total de energía en esta configuración es de 1300 kW, por lo que se obtiene un ahorro del 26,11 % con una reducción de la SEC en 1,81 kWh/m³ en esta aplicación. Este ahorro permite una rápida recuperación de la inversión en equipos nuevos instalados de muy bajo coste.

Abstract

As freshwater continues to recede to inaccessible parts of aquifers, especially in the world's most vulnerable or water-stressed regions, research efforts constantly seek new ways to provide drinking water efficiently and cost-effectively using desalination. Until recently, the use of seawater desalination has been confined to desert environments, where surface and groundwater resources are scarce. However, challenges posed by climate change and other anthropogenic activities have systematically forced most near-shore or coastal communities to resort to seawater desalination as a means of obtaining drinking water. Great advances in energy recovery equipment and membrane technology in the last two decades have created two-fold reduction in the energy required to desalinate seawater. In the last 50 years, seawater desalination has undergone an enormous evolution, because the predominant technology has varied over time until the present day, when desalination using reverse osmosis membranes is now clearly the most widely used technique.

The main objective of this project is the modernization of the reverse osmosis desalination plant "Lanzarote IV" in Lanzarote, by updating energy recovery methods and using Danfos APP pumps.

Prior to the optimization of the plant, the different techniques and stages of the desalination process are briefly outlined, and a global study of current technologies, plants, and desalination capacity is carried out.

This study describes and simulates the possible modernization of current Pelton turbines by PX ERI energy recovery lines within the SWRO plant in Lanzarote IV. In general, various situations have been simulated, concluding that the design composed of a single stage with SW LG SW 440 GR elements for trains from 1 to 4 and the last train with LG SW 400 R brings together the best advantages to achieve a substantial improvement. in both energy production and reduction in

the desalination plant. This design can reduce current energy consumption by 55% by reducing the working pressure to 53.27 bar. The pressure tube line designed with this combination of elements provides flexibility and allows the production of permeate to increase by up to 7.2% at the moment when a greater capacity is required. Also, it is possible to reduce the number of VPs since the second step is eliminated by more than 41.

In addition, up to four possible modifications for the five existing RO trains are analyzed and described. As the Lanzarote IV desalination plant is a facility that does not have spaces for extensions, it is recommended that the Pelton turbines be replaced by isobaric ERD connected to each RO train for RO trains nos. 1 to 5. The total energy requirement in this configuration is 1300 kW, so a saving of 26.11% is obtained with a reduction of the SEC of 1.81 kWh/m³ in this application. This saving allows for a short payback period on the investment of the very low-cost new equipment installed.

Índice

Agradecimientos	v
Resumen	viii
Abstract	xi
Índice	xiv
Índice de Figuras	xviii
Índice de Tablas	xxii
Abreviaturas	xxv
1. Introducción	1
1.1. <i>Estado Global de la desalación.</i>	1
1.1.1. Propagación mundial de la desalación	4
1.2. <i>Tecnologías de desalación.</i>	6
1.2.1. Tecnología de desalación por ósmosis directa.....	7
1.2.2. Tecnología de desalación por ElectroDiálisis (ED).....	9
1.2.3. Tecnología de desalación por Ósmosis inversa.....	11
1.2.4. Comparación entre ósmosis directa y ósmosis inversa.....	12
2. Descripción del Proceso de desalación por RO	15
2.1. <i>Toma y bombeo de agua de mar.</i>	15
2.2. <i>Pre-tratamiento del agua de mar.</i>	17
2.3. <i>Desalación.</i>	18
2.4. <i>Recuperación de energía de la salmuera.</i>	19
2.5. <i>Post-tratamiento y almacenamiento del agua de permeación.</i>	22
2.6. <i>Descarga de salmuera.</i>	23

2.7. Componentes principales.....	26
2.7.1. Bombas de alta presión.....	27
2.7.2. Sistema de recuperación de energía.....	31
2.7.3. Módulos de membrana.....	55
2.7.4. Tubo de presión.....	62
2.7.5. Tren SWRO.....	62
2.7.6. El segundo paso (si lo hubiera) para desalinizar el permeado del primer paso.....	63
2.7.7. La segunda etapa (si la hubiera) para desalar el concentrado.....	63
2.8. Coste del agua producida en una planta desaladora.....	64
3. Descripción de la planta Lanzarote IV.....	68
4. Simulación Configuración Inicial de Lanzarote IV.....	77
4.1. Fabricantes de membranas y softwares de simulación.....	77
4.2. LG - NanoH ₂ O.....	80
4.3. Simulación Lanzarote IV.....	82
4.3.1. Elección del tipo de membranas.....	83
4.3.2. Consumo específico en cada TREN.....	94
5. Modernización Lanzarote IV.....	100
5.1. Introducción.....	100
5.2. Reequipamiento de los PV y membranas.....	101
5.3. Modernización de las bombas de alta presión.....	104
5.4. Modernización con recuperadores energéticos de ERI.....	106
5.5. Resultados y discusión.....	108
5.5.1. TREN 1.....	109
5.5.2. TREN 2.....	112
5.5.3. TREN 3.....	113
5.5.4. TREN 4.....	114
5.5.5. TREN 5.....	116
5.6. Estudio económico de la modernización de Lanzarote IV.....	117
Conclusiones.....	119
Referencias.....	122
Anexos.....	131

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Estado global del Agua [0].	2
Figura 2. Capacidades de desalación (a) mundial en términos de contribuciones a la capacidad instalada global de 97,2 millones de m ³ /d, y (b) en términos de capacidad instalada acumulada y aumento interanual [7].	5
Figura 3. Comparación del proceso de OD y OI [10]	8
Figura 4. Esquema de funcionamiento global de una planta de ósmosis directa. .	8
Figura 5. Descripción esquemática del proceso de Electrodialísis Inversa.	10
Figura 6. Esquemas de los fenómenos de ósmosis y ósmosis inversa.....	12
Figura 7. Relación presión osmótica-energía necesaria [14]	14
Figura 8. Diagrama conceptual del proceso SWRO básico.	18
Figura 9. Diagrama conceptual de la configuración de dos pasos.	19
Figura 10. Diagrama del proceso SWRO con recuperación de energía basado en turbocompresores.....	21
Figura 11. Diagrama del proceso SWRO con recuperación de energía basado en intercambiadores de presión.....	22
Figura 12. Esquema de un emisario submarino con difusores.	26
Figura 13. Bomba centrífuga.	30
Figura 14. Turbina Francis.	32
Figura 15. Turbina Pelton.	33
Figura 16. Esquema de instalación con turbocharger. (Fuente: Energy Recovery)	33
Figura 17. Esquema de un sistema de recuperación de energía ERI.	35
Figura 18. Vista por piezas de un ERI.	36

Figura 19. Ciclo operativo de un ERI.....	37
Figura 20. Esquema de instalación con intercambiador de presión.	38
Figura 21. Funcionamiento de Recuperador Isobárico de DEWEER. Paso 1.	39
Figura 22. Funcionamiento de Recuperador Isobárico de DEWEER. Paso 2.	40
Figura 23. Aspecto de un recuperador energético DWEER	40
Figura 24. Aspecto del recuperador energético iSave	42
Figura 25. Proceso de ósmosis inversa con recuperador energético RO Kinetic.	43
Figura 26. A) Instalación con un sistema de recuperación energética RO Kinetic B) Aspecto de un recuperador energético RO Kinetic	44
Figura 27. Proceso de ósmosis inversa con recuperación energética con el equipo ISOBARIX XPR.	46
Figura 28. Interior de un recuperador de energía Isobarix XPR.....	47
Figura 29. Partes de un recuperador Salino Pressure Center.....	48
Figura 30. Especificaciones del recuperador energético Salino Pressure Center.	48
Figura 31. Proceso de ósmosis inversa con un recuperador compacto Salino Pressure Center. Paso 1	49
Figura 32. Proceso de ósmosis inversa con un recuperador compacto Salino Pressure Center. Paso 2	49
Figura 33. Proceso de ósmosis inversa con un recuperador compacto Salino Pressure Center. Paso 3 Aporte de energía.	50
Figura 34. Configuración de membranas de arrollamiento en espiral.....	56
Figura 35. Esquema representativo de membranas de fibra hueca.	58
Figura 36. Configuración de membranas de fibra hueca	58
Figura 37. Bastidores de Osmosis Inversa.	60
Figura 38. El precio del agua desalada, como lo muestran (a) las tendencias en los costos promedio de desalación de agua de mar y agua salobre y (b) el coste de desalación de agua, según la tecnología y el tamaño de la planta.	65

Figura 39. Trenes RO de la planta Lanzarote IV. Fuente: Science Direct, Desalination.	70
Figura 40. Bombas de alta presión y turbinas Pelton de la planta Lanzarote IV. Fuente: Inalsa	71
Figura 41. Detalle rueda turbina Pelton de la planta Lanzarote IV. Fuente: Inalsa	71
Figura 42. Esquema de la planta Lanzarote IV y datos principales de operación. Fuente: Science Direct, Desalination	74
Figura 43. Interface del software NanoH ₂ O – valores de entrada características del agua de alimentación.	80
Figura 44. Interface del software NanoH ₂ O – valores de entrada de los parámetros de diseño.	81
Figura 45. Especificaciones del feed water en LG NanoH ₂ O.	82
Figura 46. Simulación TREN 1 en NanoH ₂ O.	86
Figura 47. Diagrama TREN 1 obtenido en NanoH ₂ O.	87
Figura 48. Simulación TREN 2 en NanoH ₂ O.	87
Figura 49. Diagrama TREN 2 obtenido en NanoH ₂ O.	88
Figura 50. Simulación TREN 3 en NanoH ₂ O.	89
Figura 51. Diagrama TREN 3 obtenido en NanoH ₂ O.	90
Figura 52. Simulación TREN 4 en NanoH ₂ O.	91
Figura 53. Diagrama TREN 4 obtenido en NanoH ₂ O.	92
Figura 54. Simulación TREN 5 en NanoH ₂ O.	92
Figura 55. Diagrama TREN 5 obtenido en NanoH ₂ O.	93
Figura 56. Diagrama TREN 1 situación real de Lanzarote IV.	94
Figura 57. Diagrama TREN 2 situación real de Lanzarote IV.	95
Figura 58. Diagrama TREN 3 situación real de Lanzarote IV.	96

Figura 59. Diagrama TREN 4 situación real de Lanzarote IV.	97
Figura 60. Diagrama TREN 5 situación real de Lanzarote IV	98
Figura 61. Bomba de sección anular multietapa MBN-RO © Sulzer Ltd 2020. [59]	105
Figura 62. The PX PowerTrain™ ERI PX PT1800 [60].	107
Figura 63. Configuración con intercambiadores de Presión PX [60].	108
Figura 64. Actualización con recuperador de energía Tren 1.....	109
Figura 65. Actualización con recuperador de energía Tren 2.....	112
Figura 66. Actualización con recuperador de energía Tren 3.....	113
Figura 67. Actualización con recuperador de energía Tren 4.....	114
Figura 68. Actualización con recuperador de energía Tren 5.....	116

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Capacidad instalada por tecnologías.....	7
Tabla 2. Tipos de aceros más utilizados en la desalación con agua de mar.	17
Tabla 3. Composición de un agua osmotizada.	23
Tabla 4. Modelos ERI PX con su respectiva eficiencia y rango de caudal permitido. FUENTE: ERI PX	38
Tabla 5. Modelos disponibles de Isobarix XPR.....	46
Tabla 6. Comparación de Recuperadores energéticos.	53
Tabla 7. Comparación entre los recuperadores energéticos Isobarix XPR y el Salino Pressure Center de KSB.....	54
Tabla 8. Composición del agua de mar en la planta Lanzarote IV. Fuente: Inalsa Company Technical Department.....	69
Tabla 9. Características nominales de los trenes de la planta SWRO. Fuente: Inalsa Company Technical Department.....	72
Tabla 10. Configuración de los tubos de presión de los trenes con dos pasos. Fuente: Inalsa Company Technical Department.....	72
Tabla 11. Configuración de los tubos de presión de los trenes con un único paso. Fuente: Inalsa Company Technical Department.....	72
Tabla 12. Dimensión y material de los tubos de presión de los trenes SWRO.	73
Tabla 13. Datos de operación de caudal y presión de los trenes con dos pasos. Fuente: Inalsa Company Technical Department – Personal communication.....	75
Tabla 14. Datos de operación de caudal y presión para el quinto tren de solo un paso. Fuente: Inalsa Comany Technical Department - Personal communication	75

Tabla 15. Ratio de recuperación por tren de RO. Fuente: Inalsa Company Technical Department – Personal communication.....	75
Tabla 16. Otros datos de operación de interés de la planta. Fuente: Inalsa Company Technical Department - Personal communication.....	76
Tabla 17. Principales fabricantes de membranas de RO industriales.....	78
Tabla 18. Programas de diseño de los distintos fabricantes de membranas RO..	79
Tabla 19. Configuración inicial de membranas.	83
Tabla 20. Especificaciones de las membranas iniciales.	84
Tabla 21. Membranas de ósmosis inversa para agua de mar NanoH ₂ O™ de LG Chem.	84
Tabla 22. Membranas de ósmosis inversa para aguas salobres NanoH ₂ O™ de LG Chem	84
Tabla 23. Membranas equivalentes elegidas en una primera simulación.	85
Tabla 24. Membranas equivalentes elegidas.....	86
Tabla 25. Resultados del Tren 1 con simulación NanoH ₂ O.	87
Tabla 26. Resultados del Tren 2 con simulación NanoH ₂ O.	88
Tabla 27. Resultados del Tren 3 con simulación NanoH ₂ O.	89
Tabla 28. Resultados del Tren 4 con simulación NanoH ₂ O.	91
Tabla 29. Resultados del Tren 5 con simulación NanoH ₂ O.	93
Tabla 30. Comparación de elementos Filmtec con © LG Chem [56].	103
Tabla 31. Características Bomba de sección anular multietapa MBN-RO. [59]..	105
Tabla 32. Curva de rendimiento de una Bomba de sección anular multietapa MBN-RO. [59].....	106
Tabla 33. Especificaciones de un PX PT1800 [60].	107
Tabla 34. Resultados actualización Tren 1.	109
Tabla 35. Resultados actualización Tren 2.	112
Tabla 36. Resultados actualización Tren 3.	113

Tabla 37. Resultados actualización Tren 4.	115
Tabla 38. Resultados actualización Tren 5.	116
Tabla 39. Resumen Presupuesto de la Inversión.	118
Tabla 40. Tabla comparativa de resultados en el estado actual y modernización de Lanzarote IV.....	119
Tabla 41. Flujo de permeado por elemento LG SW 440 GR.....	120
Tabla 42. Flujo de permeado por elemento LG SW 400 R.....	121

Abreviaturas

MED	Destilación multiefecto
MSF	Destilación flash multietapa
RO	Ósmosis inversa
SWRO	Ósmosis inversa de agua de mar
MD	Destilación por membrana
FO	Ósmosis directa
CDI	Desionización capacitiva
HDH	Deshumidificación por humidificación
GH	Desalación a base de hidratos de gas
UF	Ultrafiltración
NF	Nanofiltración
IF	Filtración iónica
ED	ElectroDiálisis
EDR	Electrodiálisis Inversa
LSI	Índice de Saturación de Langelier
TDS	Total de Sólidos Disueltos
SEC	Consumo Específico de Energía
SDI	Índice de densidad de sedimentos
PREN	Pitting Resistance Equivalent Number
SAR	Tasa de absorción específica

1. INTRODUCCIÓN

La cura para todo es siempre agua salada: el sudor, las lágrimas o el mar.

- Karen Blixen -

1.1. Estado Global de la desalación.

Si nos centramos en la definición de agua que nos enseñan desde pequeños y aparece en los libros, nos dicen que es un líquido incoloro, inodoro e insípido la verdad que esta idea es poco atractiva, es decir, es algo que desde un punto de vista puede parecer poco útil. Lo importante del agua es que es fundamental para la vida, al menos para la vida como la conocemos en nuestro planeta. El agua es sinónimo de desarrollo: en aquellos lugares dónde se ha desarrollado la vida es porque ha habido agua. Fundamental para la vida humana pero también para el desarrollo de los diferentes sectores que contribuyen para mejorar la vida humana.

Se crea en un momento determinado de la evolución del universo y no se crea más pero tampoco la destruimos, es decir, que perdemos la calidad del recurso, pero el recurso sigue ahí. El planeta en el que vivimos tiene un 71% de su superficie recubierta de agua, por lo que en realidad tendríamos que llamarle planeta agua y no planeta tierra. El 97,5 % del agua del planeta es agua salada.

El agua no marina se encuentra en:

- 69% en glaciares y casquetes polares.
- 30,7 % en el subsuelo.
- 0,3 % en ríos, lagos y acuíferos.

Los mares y océanos son solo el 0,023% de la masa total del planeta

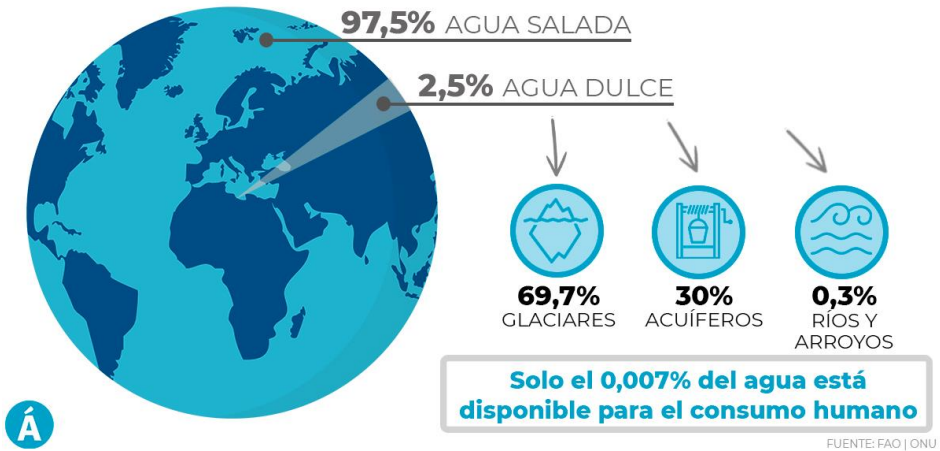


Figura 1. Estado global del Agua [0].

La inquietud del hombre por aprovechar el agua de mar en aquellas poblaciones las cuales están rodeadas de agua salada y no tienen agua para su consumo, ha llevado al hombre a desarrollar las técnicas de desalación de agua.

Para que el agua sea apta para el consumo humano debe tener en torno a unos 0,5 gramos de sales por litro de agua. Entonces según el contenido salino podemos clasificar las aguas en dulces, en aguas salobres (que proceden de aguas subterráneas o aguas de pozo que aún no siendo muy saladas como el agua de mar tienen un contenido salino que hacen que no sean potables) y por último las aguas marinas.

Las tecnologías de desalación han experimentado un importante desarrollo a partir del año 1928, cuando las plantas de desalación comenzaron a emerger en muchas ciudades del mundo con escasez de agua; desde la primera planta de destilación multiefecto (MED) (en 1930), a la primera planta de destilación flash multietapa (MSF) (en 1957), hasta la primera planta de ósmosis inversa (RO) (en 1965). [1] Las actividades de investigación han seguido creando mejores condiciones (ahorro de energía, ahorro de costes y reducción de la huella ecológica) para la producción de agua dulce, especialmente en tecnologías de desalación de agua basadas en membranas (como la RO). El progreso logrado en

la desalación de agua de mar de manera asequible ha hecho que el proceso sea más atractivo como una forma alternativa de proporcionar suministro de agua municipal. Esto explica por qué el tamaño y el número de plantas desalinizadoras en todo el mundo han aumentado a una tasa promedio anual de aproximadamente 6,8% desde 2010, lo que equivale a una adición anual promedio de aproximadamente 4,6 millones de $\text{m}^3/\text{día}$ de capacidad de producción. Solo desde enero de 2019 hasta febrero de 2020, el número total de nuevas plantas desaladoras contratadas e instaladas en todo el mundo fue de 155, lo que proporciona una capacidad instalada adicional de 5,2 millones de $\text{m}^3/\text{día}$. A mediados de febrero de 2020, la capacidad global de desalación instalada y acumulada para la producción de agua dulce era de 97,2 millones de $\text{m}^3/\text{día}$ y 114,9 millones de $\text{m}^3/\text{día}$, respectivamente, proporcionada por 20.971 plantas y proyectos en todo el mundo [2].

Entre todas las tecnologías de desalación, la tecnología de ósmosis inversa de agua de mar (SWRO) es la más extendida a nivel internacional. Los avances atribuibles a la I + D en esta tecnología son continuos. Básicamente, las principales innovaciones recientes, así como las líneas de investigación existentes, se centran en intentar conseguir nuevas reducciones en el consumo energético. Además, los investigadores están trabajando para minimizar los efectos negativos de las incrustaciones en las membranas y en la fabricación de membranas con mayor flujo unitario.[3]

La extracción de sal del agua de mar consume una cantidad relativamente alta de energía; en términos de la energía eléctrica requerida en la desalación por membrana para superar la presión osmótica natural del agua de mar, o en términos de energía tanto eléctrica como térmica requerida en la desalación térmica para vaporizar o evaporar una porción de agua de mar en destilado. La tecnología de desalación por ósmosis inversa, por ejemplo, consume entre 8 y 10 veces más energía que la tecnología tradicional de tratamiento de aguas superficiales (como lagos y ríos) [4]. La energía necesaria para desalar el agua de mar en la desalación térmica es incluso superior a la requerida en RO [5]. RO representa alrededor del 69% de la capacidad de desalación instalada y la mayoría de los nuevos contratos se adjudican teniendo en cuenta las tecnologías de desalación por membranas. Hay 14.365 plantas de ósmosis inversa (en línea) existentes. MSF y MED representan solo el 17% y el 7%, respectivamente, de la capacidad actual de desalación instalada en todo el mundo. Mientras tanto, a

pesar de los enormes recursos invertidos, las actividades de investigación realizadas y la fama asociada a las tecnologías de membranas para la desalación de agua, la energía específica actual requerida para desalar el agua de mar mediante estas técnicas (especialmente RO) aún ronda alrededor de 1,5–4 kWh/m³ (frente a un requisito termodinámico de 0,9 kWh/m³), según la salinidad del agua de alimentación y el porcentaje de extracción del producto [6]. Este rango sigue siendo significativamente más alto que el consumo de energía de las tecnologías de tratamiento de aguas superficiales no salinas.

1.1.1. Propagación mundial de la desalación

Según se describe en la referencia [7]. Hay aproximadamente 16.876 plantas desaladoras operativas, 270 plantas en construcción y 3825 plantas fuera de línea en el mundo. De éstas, hay 14.360 plantas de RO operativas, lo que indica que RO representa el 85% de las plantas operativas existentes. Además, hay 247 plantas de RO de las 270 plantas en construcción, lo que indica que RO representa aproximadamente el 91% de estas plantas. En todos los continentes, como se muestra en la Fig. 2 (a), las plantas de desalación operativas más grandes están disponibles en el Medio Oriente y esta subregión representa el 39% de la capacidad de desalación mundial. Esta estadística no es sorprendente dado que esta región tiene limitaciones de agua dulce como resultado de las limitadas fuentes naturales. Las capacidades de producción de las plantas en algunas partes de Europa y América no están a la par con las de Medio Oriente debido a las rígidas leyes de protección ambiental. Estas leyes se han implementado debido a las implicaciones ambientales (disposición de efluentes y emisiones de gases de efecto invernadero, entre otras) asociadas con la desalación a gran escala como enfoque de tratamiento de agua.

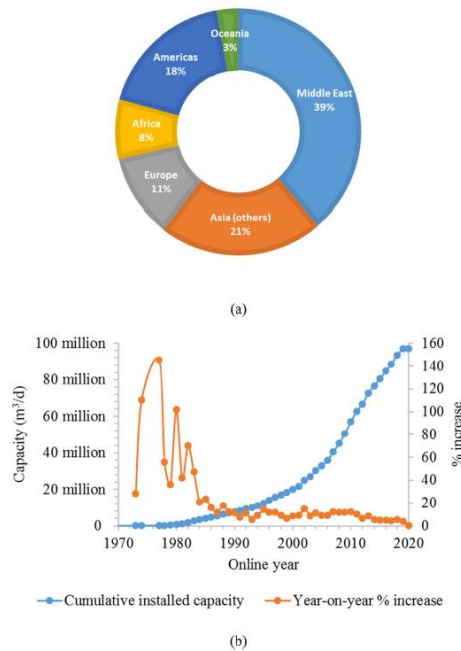


Figura 2. Capacidades de desalación (a) mundial en términos de contribuciones a la capacidad instalada global de 97,2 millones de m^3/d , y (b) en términos de capacidad instalada acumulada y aumento interanual [7].

En general, hay una tendencia creciente de la capacidad acumulada de las plantas desaladoras operativas en todo el mundo, de solo 27.252 m^3/d en 1969 a 97,2 millones de m^3/d en 2020. El aumento interanual de la capacidad instalada también se ha mantenido positivo, de un promedio del 75% en la década de 1970 a un promedio de alrededor del 7% en la última década. La incorporación de productos químicos menos tóxicos y fuentes de energía renovable, así como la creación de mayores recuperaciones, podría conducir a un aumento adicional de la capacidad de desalación mundial. Las plantas desalinizadoras terrestres proporcionan la mayor parte de la capacidad de desalación mundial, que asciende a 69,1 millones de m^3/d a nivel mundial, de los cuales más de 54,2 millones de m^3/d provienen de la región EMEA (Europa, Oriente Medio y África).

En Europa, las mayores capacidades de desalación se concentran principalmente en el Mediterráneo (España, Italia y Grecia). Debido a la escasez de recursos naturales, la demanda turística y la agricultura intensiva han requerido la búsqueda de recursos hídricos no convencionales. Las capacidades SWRO instaladas recientemente en Europa muestran una tendencia hacia la construcción de plantas de alta capacidad.

La mayoría de las últimas plantas SWRO instaladas en Europa, han sido en España debido al programa español de desalación A.G.U.A. Como resultado, solo Arabia Saudí y Emiratos Árabes Unidos han superado la capacidad contratada de España entre 2003 y 2009. Hoy en día, España se ha impulsado al tercer lugar del mundo en términos de capacidad contratada. El programa A.G.U.A incluye la instalación de 20 plantas desaladoras desde 2004. Algunas de nueva construcción, otras son ampliaciones de plantas existentes, principalmente en la costa mediterránea. En concreto, Canarias destaca en el uso de la desalación de agua para el suministro humano y agrícola. Hay más de 130 plantas desaladoras SWRO en esta región, que es una de las más densas en el mundo de plantas SWRO (22,73 km²/planta), se estimó la capacidad SWRO total de las Islas Canarias en 218.200 m³/d en 2000. Sin embargo, pocos años después, la capacidad instalada total reportada superó los 400.000 m³/d [8].

1.2. Tecnologías de desalación.

Actualmente se utilizan varias tecnologías de desalación en el ámbito industrial. Las tecnologías de desalación comercial se agrupan en dos categorías; **desalación por membranas**, principalmente RO seguida de la ElectroDiálisis (ED), que solo es apta para aguas salobres, y **desalación térmica**, principalmente MED y MSF. Por otra parte, las tecnologías de desalación emergentes, que aún se encuentran en las etapas de investigación y desarrollo, incluyen en gran medida la destilación por membrana (MD), la ósmosis directa (FO), la desionización capacitiva (CDI), la congelación, deshumidificación por humidificación (HDH) y desalación a base de hidratos de gas (GH). Además, hay una serie de tecnologías de apoyo o de pretratamiento para aumentar la eficiencia de la planta de desalación; estos incluyen ultrafiltración (UF), nanofiltración (NF) y filtración iónica (IF). Además

de las principales tecnologías de desalación autónomas, actualmente se está considerando la posibilidad de utilizar combinaciones de tecnologías como MSF-MED, MED-adsorción (MED-AD) y RO-MSF para aumentar la eficiencia de la planta de desalación mediante la combinación de fortalezas en cada tecnología de tal manera que la mezcla podría superar las deficiencias en cada tecnología. La Tabla 1 compara la capacidad instalada de tecnologías de desalación que incluyen tanto la desalación de agua de mar como de agua salobre [9].

Ósmosis inversa (RO)	61,1 %
Flash de varias etapas (MSF)	25,7 %
Destilación multiefecto (MED)	8,3 %
Electrodialisis (ED)	3,2 %
Híbrido	0,7 %
Electrodesionización	0,3 %
Otro	0,7%

Tabla 1. Capacidad instalada por tecnologías

1.2.1. Tecnología de desalación por ósmosis directa.

La Ósmosis Directa (FO), es un fenómeno, por el cual, a través de una membrana semipermeable, el agua pasa de una solución más diluida (feed solution, FD) a una altamente concentrada (draw solution, DS), debido al gradiente de presión osmótica generado entre ambas. A consecuencia de este proceso, se consigue la dilución de la solución extractora (DS), disminuyendo su presión osmótica hasta llegar a igualarse a la de alimentación. En ese momento, se llega al equilibrio y cesa el flujo de agua.

En este caso, no será necesario un equipo generador de presión hidráulica, como sí se requiere en la ósmosis inversa. Esto implica que la energía necesaria es mucho menor en FO, pues el principal consumo de energía está en el proceso de separación y recuperación de la solución extractora, y se ve que este es mucho

menor que los de ósmosis inversa. Una DS ideal es capaz de generar una gran presión osmótica y es fácilmente recuperable, lo cual es crucial en procesos de FO.

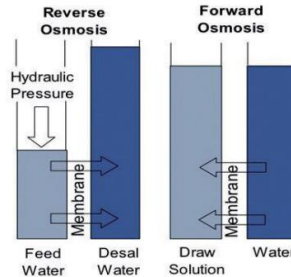


Figura 3. Comparación del proceso de OD y OI [10]

El posterior aporte de calor o de trabajo a la solución extractora permitirá separar el agua pura de la solución, volviendo ésta al estado de concentración inicial.

El proceso deberá contar con dos equipos, tal y como se observa en la Figura 6, de esta manera, se separará el agua pura de la solución extractora tras el proceso de ósmosis.

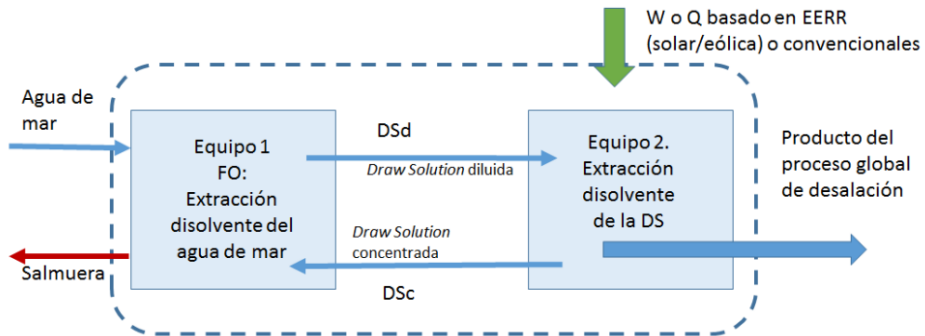


Figura 4. Esquema de funcionamiento global de una planta de ósmosis directa.

La primera etapa del proceso es la correspondiente al equipo en el que se produce la ósmosis directa, proceso espontáneo y que por tanto no consume energía, exceptuando la necesaria para la circulación de los flujos en el equipo. En el

segundo equipo se produce el aporte de energía mediante el que se consigue la separación del agua pura a partir de la solución extractora.

La correcta selección del soluto que conformará la solución extractora es indispensable tanto para mantener la espontaneidad del proceso de FO, gracias a una elevada diferencia de presiones osmóticas entre las disoluciones, como para optimizar el consumo energético, ya sea mediante aporte de calor o de trabajo, que supone la posterior separación del agua pura de la solución extractora.

La obtención de agua pura (producto) mediante este procedimiento requiere un aporte energético que deberá ser menor que el de la ósmosis inversa, para que tenga utilidad el proceso de FO en aplicaciones de desalación. Esto en principio será posible siempre y cuando se escoja adecuadamente la solución extractora.

1.2.1.1. Principales ventajas de usar la ósmosis directa

Las principales ventajas del uso de la ósmosis directa (FO) son que opera a presiones hidráulicas bajas o nulas respecto al ambiente, tiene un alto rechazo de una amplia gama de contaminantes, y puede tener una menor propensión a la incrustación de la membrana que los procesos de membrana a presión. Debido a que la única presión involucrada en el proceso FO es causada por la resistencia al flujo en el módulo de membrana, el equipo utilizado es muy simple y el soporte de la membrana es menos problemático. Además, para el procesamiento alimentario y farmacéutico, FO tiene el beneficio de concentrar la corriente de alimentación sin requerir altas presiones o temperaturas que puedan ser perjudiciales para la solución de alimentación. Para aplicaciones médicas, FO puede ayudar en la liberación lenta y precisa de fármacos que tienen baja biodisponibilidad oral debido a su solubilidad o permeabilidad limitada.

1.2.2. Tecnología de desalación por ElectroDiálisis (ED)

La electrodiálisis es una técnica basada en el transporte de iones a través de membranas selectivas bajo la influencia de un campo eléctrico. Esta técnica ha probado su viabilidad en la desalación de agua salobre, la desalación de aminoácidos y otras disoluciones orgánicas, en el tratamiento de efluentes y/o en el reciclado de flujos de procesos industriales y en la producción de sal. En una pila de electrodiálisis convencional, se sitúan alternativamente membranas el

paso únicamente de cationes o de aniones entre el cátodo y el ánodo. Cuando se aplica una diferencia de potencial entre ambos electrodos, los cationes se mueven hacia el cátodo y los aniones hacia el ánodo. Los cationes migran a través de las membranas de intercambio catiónico (que tienen grupos negativos fijados) y sin embargo no pueden atravesar las membranas de intercambio aniónico. Por otra parte, los aniones migran a través de las membranas de intercambio aniónico (que tienen grupos positivos fijados) no pueden atravesar las membranas de intercambio catiónico. Estos movimientos producen el aumento en la concentración de iones en compartimentos alternos (celda de concentración) y la disminución en los adyacentes (celda de dilución). En la figura 5 se muestra el transporte de carga en un sistema de electrodiálisis convencional para disoluciones de NaCl.

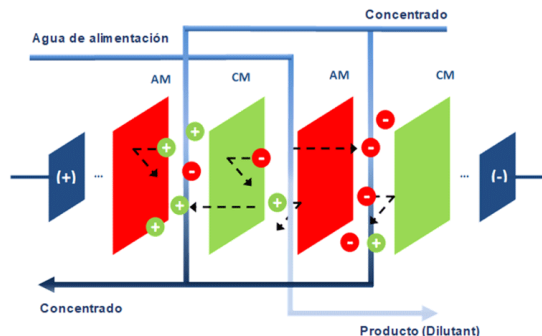


Figura 5. Descripción esquemática del proceso de Electrodiálisis Inversa.

En cada pila ED hay dos electrodos en la parte exterior que son sumergidos en una solución de sal acuosa que puede conducir corriente eléctrica y permite a un campo eléctrico ubicarse alrededor de la pila. La solución de sal es bombeada alrededor con el fin de mantener el balance iónico. Ya que la solución de sal (corriente de alimentación) también se encuentra entre las membranas de intercambio iónico, el campo eléctrico resultará en transporte iónico. En los espacios entre electrodos, marcados como “dilutante”, los cationes se difundirán a través del CM al electrodo negativo (Cátodo) mientras los aniones se difundirán a través del AM al electrodo positivo (ánodo).

Los iones que salen de la alimentación del dilutante se mueven a la cámara de alimentación de concentrado vecina, lo cual lleva a una caída en la concentración de iones en las cámaras del dilutante del proceso de ED. En las cámaras del concentrado, los cationes se intentarán mover al electrodo negativo, pero serán bloqueados por el AM, y los aniones se intentarán mover al electrodo positivo, pero serán bloqueados por el CM. Esto lleva a un incremento en sus respectivas concentraciones en las cámaras de concentrado.

En la ElectroDialisis Reversible (EDR), el voltaje en los electrodos es invertido cada 30 – 60 min, lo cual invierte también la dirección del transporte iónico y causa la remoción desde la superficie de la membrana de sustancias eléctricamente cargadas que pueden causar serios y, quizás, irreparables daños. Esto es generalmente recomendado para remover por adelantado:

- Partículas dispersas
- Coloides
- Ácidos húmicos.
- Aceites y grasas

El lapso de vida promedio de las membranas de ED es entre 5 y 7 años. [11]

1.2.3. Tecnología de desalación por Ósmosis inversa.

La tecnología RO se basa en el proceso de ósmosis directa, un fenómeno natural que ocurre cuando, a través de una membrana semipermeable, el agua fluye desde la solución de menor salinidad hasta otra de mayor concentración salina. Es un fenómeno que tiene lugar en diversos procesos naturales como, por ejemplo, en la entrada de agua a través de la membrana celular de los seres vivos.

Según una regla fundamental de la naturaleza, este sistema intentará alcanzar el equilibrio, es decir, intentará alcanzar la misma concentración a ambos lados de la membrana. El flujo de agua desde la solución más diluida hacia la más concentrada se detendrá cuando se alcance un equilibrio entre ambas concentraciones. La fuerza que provoca ese movimiento se conoce como presión osmótica y está relacionada con la concentración de sales en ambas soluciones.

Si se invierte el sentido del flujo, aplicando una presión sobre la solución concentrada que excede la presión osmótica, se conoce como RO. Por lo tanto, el movimiento del solvente ocurre desde la solución concentrada hacia la solución más diluida. Los principales elementos para reproducir este fenómeno a escala industrial con agua de mar son una bomba (necesaria para aplicar presión) y una membrana, capaz de permitir el paso del disolvente.

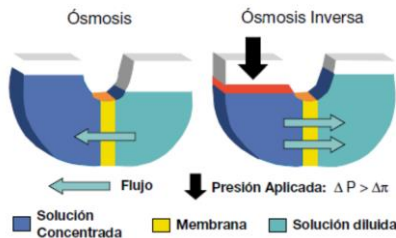


Figura 6. Esquemas de los fenómenos de ósmosis y ósmosis inversa.

Las membranas de poliamida aromática enrolladas en espiral se utilizan principalmente en procesos industriales y para la desalación de agua de mar. En cuanto a las bombas necesarias para aplicar la presión de trabajo, y dependiendo de la escala de instalación, se utilizan bombas centrífugas multietapa para bombas de alto caudal y bombas de desplazamiento para caudales más bajos [12].

1.2.4. Comparación entre ósmosis directa y ósmosis inversa

Como ya se ha puntualizado anteriormente la principal diferencia entre la ósmosis directa (FO) y la ósmosis inversa (RO) está en el sentido de la transferencia de disolvente a través de la membrana. Desde la solución más diluida hacia la más concentrada en la ósmosis directa, proceso espontáneo. O desde la solución concentrada a la más diluida en el caso de ósmosis inversa, proceso que precisa ejercer presión sobre la solución concentrada.

En una primera instancia el uso de la ósmosis directa debería suponer un ahorro de energía, ya que el gradiente de presión osmótica se produce de manera natural, este hecho no está tan claro ya que, en el segundo paso, donde se produce la

recuperación de la salmuera, es inevitable un elevado consumo de energía. A pesar de optimizar tanto como nos sea posible la salmuera y reducir significativamente el ensuciamiento producido en la membrana, la eficiencia energética de los dos procesos debe ser muy similar, o superior en el caso de la ósmosis directa [13].

Los costes totales de la desalación mediante ósmosis inversa suponen entre un 20-35% del coste total del proceso, una suma elevada cuando el precio de la electricidad es alto, por lo que la FO se ha abierto camino como alternativa a la RO, hecho desconcertante cuando comparamos los requisitos energéticos, pues estos son superiores en la ósmosis directa [13].

El artículo utilizado como base, con referencia [13] analiza las necesidades energéticas de la desalación mediante FO en los siguientes términos: La energía mínima necesaria para la desalación de un vapor de alimentación depende de la composición de alimentación y del ratio de recuperación. Podemos diferenciar entre “dos necesidades energéticas” diferentes, por un lado, la transferencia inicial de agua de la alimentación a una solución de arrastre (salmuera) de una mayor presión osmótica, y por otro la energía teórica necesaria para la regeneración. Se denomina proceso de regeneración a la extracción de disolvente de la solución de arrastre, proceso en el cual simultáneamente se obtiene el producto y se regenera la solución de arrastre para volver a extraer disolvente a partir de agua salada. La penalización energética teórica es la diferencia entre la energía teórica requerida para la desalación directa y la energía teórica para la regeneración. Esta penalización energética, y la energía teórica total requerida para la regeneración de la draw solution dependen sólo de la presión osmótica de la solución de extracción y no de su composición química [13]. La Figura 7 pone de manifiesto la necesidad de ratios pequeños de presión osmótica durante la regeneración si se desean procesos de ósmosis directa tan eficientes como los procesos RO.

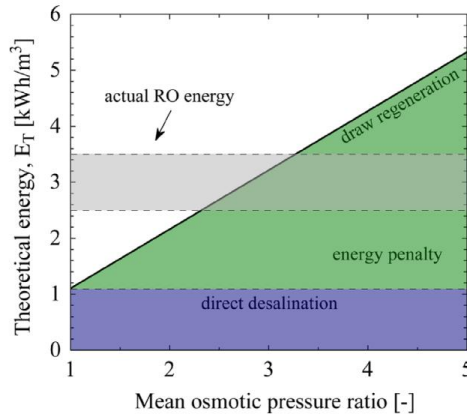


Figura 7. Relación presión osmótica-energía necesaria [14]

Otra diferencia entre ambos procesos reside en que la ósmosis inversa es generalmente de accionamiento eléctrico, requiere energía eléctrica, mientras que el proceso de regeneración en ósmosis directa puede ser también impulsada térmica o químicamente [14]. A pesar de lo anteriormente expuesto, la RO permite la desalación de aguas de alta salinidad, hecho imposible de llevar a cabo con la tecnología de ósmosis directa. Una alternativa que se ha propuesto para mitigar el consumo de energía es la utilización de sistemas híbridos, o la integración de FO (para la desalación) y RO (para la recuperación de soluto), pero su inviabilidad desde el punto de vista industrial ha sido una barrera en su desarrollo. No obstante, otras alternativas se han planteado como la FO-UF (ultrafiltración) o FO-MD (destilación por membrana) [14]. Incluso con la optimización de la DS, y el beneficio de las reducidas incrustaciones de sales en la etapa de regeneración, es improbable que el proceso global de ósmosis directa se acerque a la eficiencia energética de la ósmosis inversa para la desalación del agua de mar. Por esta razón, será mejor enfocarse en aplicaciones con alta salinidad y aplicaciones que no requieran regeneración del drenaje para la ósmosis directa, pues estos son campos en los que la ósmosis inversa no podrá competir [14].

2. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE DESALACIÓN POR RO

El proceso de osmosis inversa para agua de mar (SWRO) a escala industrial consta de las siguientes etapas:

2.1. Toma y bombeo de agua de mar.

El agua de mar sigue siendo la principal fuente de agua de alimentación utilizada por las plantas desaladoras a nivel mundial. El agua salobre es la siguiente fuente de agua de alimentación que se utiliza en grandes cantidades en la industria de la desalación, seguida del agua de río. Las aguas residuales ocupan el cuarto lugar en la clasificación y la salmuera es la fuente de agua de alimentación menos empleada para la desalación. El agua de los ríos y las aguas residuales rara vez se utilizan para la desalación a gran escala, pero algunas plantas de desalación a gran escala emplean estas fuentes de agua como agua de alimentación. Por ejemplo, las plantas desaladoras más grandes que utilizan agua de río (con una salinidad de menos de 3000 ppm) como agua de alimentación son la planta Kaohsiung Kao-Tan Park de Taiwán (300.000 m³/d), la planta de Sant Joan Despí de España (206.064 m³ / d) y la planta de tratamiento de agua Glades Road de los Estados Unidos de América (151.400 m³/d). RO y NF son las principales tecnologías utilizadas para la desalación de agua de río. Mientras tanto, mientras que el agua desalada de ósmosis inversa de agua de río (RWRO) se aplica principalmente para fines municipales, el agua desalada de ósmosis inversa de aguas residuales (WWRO) se utiliza principalmente para fines industriales y de riego. [15]

La función de estas estructuras es recolectar agua de características específicas para la función requerida, debiendo llevarse a cabo el diseño de las mismas de manera que los impactos negativos sobre el medio ambiente sean minimizados al máximo y con características adecuadas en cuanto a temperatura, sólidos en suspensión, etc. Estas estructuras son elementos que, en general, se construyen a partir de hormigón armado o elementos plásticos (PRFV) recubiertos de

hormigón, cuya función es la recogida del agua de mar, que luego se transporta mediante tuberías submarinas a las estaciones de bombeo, que están ubicados en tierra.

Los principales tipos de estructuras de toma de agua de mar son los siguientes:

- Pozos playeros (beach wells): El agua se extrae del nivel freático freático, en la costa. Las tomas de pozo tienen la ventaja de que el agua es de mayor calidad, por lo que es salvo excepciones la opción habitual para plantas desaladoras. A través de los pozos, una bomba succiona el agua, que luego es sometida a diferentes sistemas de filtrado para separar la arena y otras impurezas. La desventaja de este tipo de estructura de toma de agua de mar es que la capacidad hidráulica a menudo se verá reducida debido a la sedimentación de la misma (obstrucción con partículas finas) que impide la toma del caudal necesario.
- Estructuras de entrada abiertas en el fondo del mar: Estas estructuras suelen tener una estructura de captación singular que se ubica en una posición conveniente, a una profundidad de mar suficiente, donde el agua ingresa a las tuberías submarinas, que debidamente transportan la misma a tierra, por lo que una estación de bombeo succiona el agua a su destino. La estructura situada en el mar suele ser de hormigón o formada por piezas especiales de PRFV (u otros materiales plásticos). La estructura rara vez es metálica debido a los problemas de corrosión.

La captación o toma de agua se realizará lógicamente mediante bombeo. El tipo de bomba que utilicemos va a depender del tipo de toma de agua que utilicemos. Normalmente se utilizan:

- Bombas sumergidas. Aquellas donde el motor y la bomba están sumergidas dentro del agua.
- Bombas semisumergidas. Aquellas donde la bomba en sí está sumergida en el agua y el motor está en el aire, en el exterior.
- Bombas aéreas. Tanto la bomba como el motor están en el exterior, no sumergidos. Son bombas especiales capaces de trabajar con presiones negativas, ya que al estar la bomba fuera del agua, tiene que extraer o

succionar el agua desde abajo hacia arriba. En los métodos de la desalación solemos ayudarnos de un sistema de vacío con el objetivo de hacer que el agua suba desde abajo hacia el nivel donde tenemos la bomba. Entonces lo que hacemos es el vacío en la tubería, subimos el agua hasta el nivel de la bomba y arrancamos la bomba para mantener la columna de agua por todo el tiempo. [16]

Con el agua de mar, al ser altamente corrosiva, es importante elegir bien el tipo de material que vamos a utilizar para las bombas o tuberías. Normalmente para aguas de mar se utilizan aceros con alto contenido en molibdeno y nitrógeno, por su gran resistencia a la corrosión. La resistencia a la corrosión por grietas y picaduras en los aceros se suele medir a través del parámetro PREN, que nos indica la resistencia de ese acero a la corrosión. Normalmente los tipos de acero que se utilizan en la desalación con agua de mar son:

Denominación	PREN
904L	32-40
254 Smo	42-48
Zeron 100	37-48
AL-6XN	40,5

Tabla 2. Tipos de aceros más utilizados en la desalación con agua de mar.

Para aguas no tan corrosivas como el agua de mar, se suelen utilizar aceros del tipo 300, los más comunes son: AISi-304-L o AISi-316-L por su bajo contenido en carbono, que suele ser el causante principal de la corrosión al ponerse en contacto con el oxígeno. [17]

2.2. Pre-tratamiento del agua de mar.

El pretratamiento incluye todos los procesos fisicoquímicos para minimizar incrustaciones y ensuciamiento en las membranas. El principal objetivo del pretratamiento es eliminar sólidos en suspensión (mediante procesos físicos) y coloides (mediante procesos químicos). En cuanto a pretratamientos de membrana están basados en MicroFiltración (MF), UltraFiltración (UF) o NanoFiltración (NF).

El proceso más utilizado suele ser mediante membranas UF, ya que puede mostrar el mejor equilibrio entre contaminantes eliminados y producción de permeado. Este pretratamiento va precedido de filtración (filtros de arena y de cartuchos).

Los pretratamientos con membrana son imprescindibles para tratar agua de mar, especialmente las aguas superficiales, ya que contienen más sólidos orgánicos coloidales y suspendidos, y sufren de mayor variabilidad y problemas esporádicos.[18]

2.3. Desalación.

El proceso de desalación incluye los principales componentes de la planta de SWRO y consiste en los siguientes procesos:

- Bombeo de alta presión. El flujo de alimentación del sistema de pretratamiento tiene que ser presurizado hasta la presión requerida por el bastidor de membranas SWRO.
- Proceso SWRO. El proceso de desalación se lleva a cabo en los bastidores de membranas RO. Consisten en el montaje de tubos de presión (trabajando en paralelo) con elementos de membrana en el interior (conectados en serie). El sistema más simple para desalación SWRO es una configuración de tren SWRO con una sola etapa y un solo paso. En la Figura 8 se muestra un esquema descriptivo de este proceso.

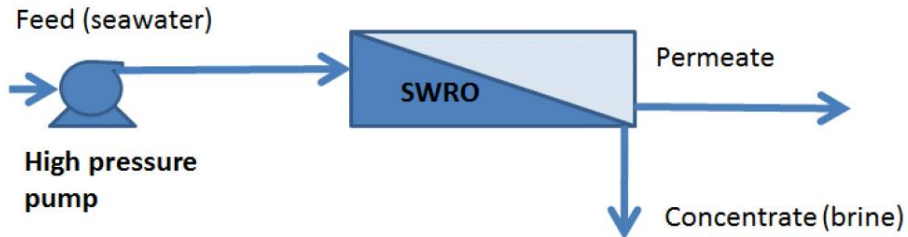


Figura 8. Diagrama conceptual del proceso SWRO básico.

Se suelen dar configuraciones de SWRO con sistemas más complejos con varias etapas y pasos. Un segundo paso supondrá un reprocesamiento del permeado

para obtener un producto de mejor calidad mediante un bastidor de membranas de agua salobre RO (BWRO). Dado que el concentrado del segundo paso está menos concentrado que el agua de mar, normalmente se mezcla con agua de alimentación.

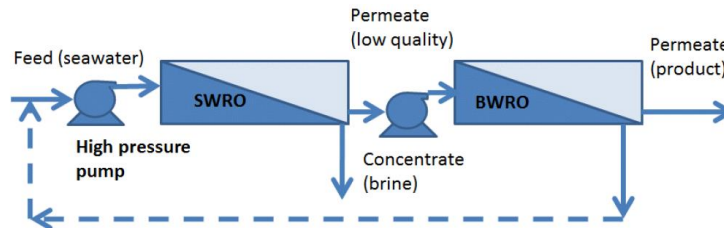


Figura 9. Diagrama conceptual de la configuración de dos pasos.

Las configuraciones con dos etapas se utilizan normalmente solo en la desalación de agua salobre de alta salinidad.[19]

2.4. Recuperación de energía de la salmuera.

El consumo eléctrico en desalación ha ido disminuyendo de forma considerable desde los años 60. La búsqueda de un menor consumo energético se ha hecho siempre siguiendo tres vías:

- Mejora de membranas
- Mejora de la eficiencia de las bombas de alta presión
- Uso de equipos de recuperación de energía, siendo esta última la tecnología con mejores resultados en los últimos tiempos.

Los equipos de recuperación de energía se utilizan en desalación con ósmosis inversa desde principios de los años 80. El objetivo de estos equipos es recuperar la energía de presión del concentrado y utilizarla en el proceso. Esta energía es función de dos parámetros:

- Caudal de rechazo

- Presión de funcionamiento de la instalación

Los primeros equipos de este tipo fueron los de tipo centrífugo: las turbinas Francis, desplazadas poco a poco por las Pelton. Ambos tipos están totalmente obsoletos. En la actualidad los dispositivos más utilizados son los denominados de cámaras isobáricas: tipo pistón o rotativos, por las ventajas que ofrecen como veremos a continuación [20]

a) Recuperadores de tipo centrífugo:

- Turbinas Francis y Pelton (obsoletas). La turbina sea Pelton o Francis está acoplada mecánicamente al eje de la bomba de alta presión o al motor eléctrico, para ayudar al motor a impulsar a la bomba. La diferencia entre ambas es que la Francis tiene menor eficiencia y necesita una contrapresión en la descarga de salmuera.
- Turbocharger. Recuperador centrífugo, similar a una turbina, pero acoplado directamente a una bomba centrífuga sin motor. La presión requerida por las membranas de ósmosis inversa es suministrada por la bomba de alta presión y por el Turbocharger trabajando en serie.

b) Recuperadores tipo Isobárico, cámaras isobáricas:

Son máquinas de desplazamiento positivo o rotativas. Transfieren directamente la energía asociada a la presión disponible en la salmuera al agua de mar de alimentación a la ósmosis inversa. Tienen rendimientos muy elevados (94-97%) y un ahorro de aproximadamente 0.4-0.7 kW.h/m³ con relación a las turbinas Pelton.

Estos equipos se instalan actualmente en la mayor parte de las plantas de ósmosis inversa de medio/gran tamaño, por su rendimiento elevado y por otras ventajas que ofrecen entre las que cabe destacar:

- Caudal bomba de alta presión y permeado son prácticamente los mismos.
- La bomba de alta presión y sistemas de recuperación de energía se pueden alimentar independientemente.
- Permiten dar flexibilidad y trabajar con conversión variable en la operación.

Respecto a los recuperadores de energía utilizados actualmente, turbocharger y cámaras isobáricas. Actúan normalmente como bombas de refuerzo de alta presión, excepto el modelo iSave fabricado por Danfoss. Por lo tanto, los turbocompresores normalmente se instalan después de la bomba de alta presión, presurizando así la descarga de la bomba (Figura 10). Por el contrario, los sistemas de recuperación de energía basados en intercambiadores de presión y el turbocompresor iSave funcionan en paralelo a la bomba de alta presión. Procesan solo una fracción de la corriente proveniente del sistema de pretratamiento de agua de mar (Figura 11). Después de pasar por los intercambiadores de presión, se requiere una bomba de circulación (de refuerzo), antes de mezclarse con la corriente de salida de la bomba de alta presión. Por el contrario, el turbocompresor iSave tiene un consumo de energía interno, por lo que no se requiere una bomba de refuerzo externa.

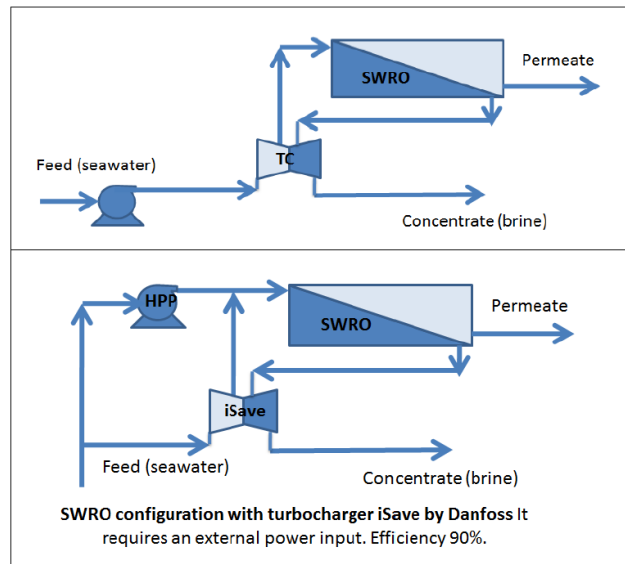


Figura 10. Diagrama del proceso SWRO con recuperación de energía basado en turbocompresores.

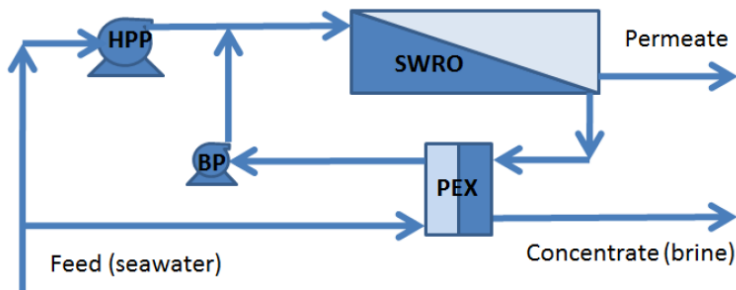


Figura 11. Diagrama del proceso SWRO con recuperación de energía basado en intercambiadores de presión.

2.5. Post-tratamiento y almacenamiento del agua de permeación.

Las aguas desaladas generalmente tienen una dureza y alcalinidad bajas, con un marcado carácter agresivo, por lo que requieren un tratamiento posterior para su corrección antes de ser distribuidas. El tipo de tratamiento de corrección, así como su alcance, dependen fundamentalmente del proceso de desalación utilizado y de la calidad del agua tratada obtenida. Se pueden diferenciar cinco actuaciones que pueden ser o no necesarias dependiendo del agua producto obtenida, la reglamentación vigente y la calidad deseada para el agua postratada (potable). Estas actuaciones pueden clasificarse en cinco tipos: eliminación de CO_2 o descarbonatación, mezcla de aguas, intercambio iónico, acondicionamiento químico y desinfección. [21]

Como ya se ha indicado, el agua producto de una desalación carece de la alcalinidad y dureza mínimas para cumplir con lo especificado en la legislación vigente sobre aguas de consumo humano.

Siendo el cloruro sódico la sal predominante del agua de mar, en el caso de una desaladora por ósmosis de agua marina, cuyas membranas estuvieran algo deterioradas, el agua permeada podría contener una cierta concentración de cloruros y de sodio. Según la vigente legislación de agua de consumo humano, el

valor máximo de sodio es de 200 mg/L (8,70 meq/L) y el de cloruros es de 250 mg/L (7,04 meq/L).

Teniendo en cuenta que la molécula de cloruro sódico contiene los mismos miliequivalentes de ambos iones y los límites de la legislación vigente, el agua osmotizada podría contener como máximo 7,04 meq/L de cloruro y otro tanto de sodio (161,9 mg/L), es decir 7,04 meq/l de cloruro sódico en total; lo que equivale a 412 mg/L de la sal. En la tabla 3 se da la composición de un agua osmotizada hipotética con la mayor concentración posible de cloruros admitida por la vigente legislación.

Sin embargo, con esta composición, el índice de Langelier sería aproximadamente de -5,3; fuera del intervalo legal para agua de consumo humano, y el índice de SAR de 63,5; valor muy alto para agua de riego, lo que pone de manifiesto la necesidad de remineralizar las aguas desaladas. [22]

CATIONES		ANIONES	
	mg/L		mg/L
Calcio	2,0	Bicarbonato	3,0
Magnesio	3,0	Sulfato	10,8
Sodio	161,9	Cloruro	250,0
Potasio	6,0	STD	437,3
Boro	0,6	Anhídrido carbónico	15
Temperatura	21 °C	pH	5,5

Tabla 3. Composición de un agua osmotizada.

2.6. Descarga de salmuera.

Como consecuencia del proceso de desalación, se produce el vertido al mar de un agua de rechazo hipersalino o salmuera. La salinidad de este vertido es variable, dependiendo del origen de la captación y del proceso de tratamiento. Muchos de los hábitats y biocenosis de los ecosistemas marinos se encuentran adaptados a

ambientes de salinidad casi constante y son muy susceptibles a los incrementos de salinidad originados por estos vertidos. Existen diversas opciones en cuanto a la disposición final del rechazo de la planta, entre las que se encuentran:

- Vertido al mar
- Vertido a las redes de Saneamiento o Cauces
- Obtención de sal
- Riego de plantas de alta tolerancia salina y cultivos energéticos
- Inyección en pozos profundos

Junto con el vertido de salmuera otro de los principales inconvenientes que plantean las plantas desaladoras es el alto consumo energético, con todas las desventajas que esto supone: alto coste del agua desalada para los consumidores, y contaminación del medio. [23]

El desarrollo de los métodos de vertido, herramientas de gestión de la salmuera, estudios del comportamiento de la pluma salina ha buscado la mitigación de estos efectos sobre los ecosistemas marinos. El desarrollo en membranas de ósmosis inversa, diseño de bombas y sistemas de recuperación de energía ha permitido también la reducción del consumo energético en las plantas de desalación. Sin embargo, estos campos parecen haber encontrado un techo tecnológico difícil de rebasar en los últimos tiempos. La energía osmótica se plantea como uno de los caminos a investigar aplicado al campo de la reducción del consumo energético en desalación de agua de mar, a través del aprovechamiento energético de la salmuera.

Los resultados de los ensayos con agua salobre ponen de manifiesto problemas de ensuciamiento de la membrana, el caudal de paso a través de esta disminuye con el tiempo y este efecto se ve incrementado con el aumento de la temperatura del agua. Este fenómeno deriva en una modificación del pretratamiento de la ósmosis directa añadiendo un sistema de ultrafiltración que ha permitido que la membrana presente un comportamiento estable en el tiempo.

El modo más adecuado es el vertido controlado al mar. En esta opción, la salmuera se vierte controladamente al mar, ya sea de forma directa o mediante emisarios submarinos. Cabe destacar que la salmuera estará compuesta, además de por las sales concentradas, por los diferentes productos químicos que se han ido

añadiendo en el pretratamiento. En ocasiones también se añaden al rechazo los productos de limpieza química de las membranas, aunque lo conveniente sería su vertido por separado hasta una Estación de Tratamiento de Aguas Residuales. El efecto sobre el medio Marino sería de forma local, en las zonas próximas donde se produzca el vertido.

Dichos compuestos químicos no tienen por qué considerarse tóxicos para el medio Marino puesto que:

- Las dosis usadas son del orden de 1 a 25 ppm, por lo que resultan despreciables respecto al resto de las sales.
- El cloro libre de los biocidas debe pasar a cloruros antes de entrar en la membrana (por su baja tolerancia al Cl) siendo despreciable frente al contenido de este ión en la salmuera.
- El reductor se oxida a sulfato, siendo también despreciable frente al contenido de este ión en la salmuera.
- Los ácidos modifican el pH del agua de aporte, pero luego se estabiliza con los reductores, y únicamente tiende a incrementar la salinidad de la salmuera de forma despreciable.
- La biodegradabilidad de los antiincrustantes es total aunque varía la velocidad con que lo hagan.

Como posibles efectos ambientales hay que considerar tanto la construcción del emisario submarino, como la correcta dilución de la salmuera tras ser impulsada a través de los difusores. La clave del vertido controlado es diseñar el emisario y la localización de éste de forma que se produzca la dilución rápida de las sales contenidas en el rechazo, de tal forma que no afecte a la vida del medio marino, homogeneizando la salinidad de manera que se mantenga por debajo de los límites de tolerancia salina de las diversas especies. Para la dilución de la salmuera destacan dos procesos físicos, los cuales son:

- Dilución primaria: la ratio de dilución del proceso depende de la diferencia de densidades entre la salmuera y el agua de mar (función de la concentración de las sales y la temperatura), del momento, del flujo de salida y su velocidad, así como del radio del emisario y la profundidad a

la que éste se encuentre. Para mejorar el proceso debe diseñarse correctamente el emisario y añadir difusores.

- Dilución natural: es debida a un proceso de difusión y mezcla propiciado por el oleaje y las corrientes marinas y que varía en función de las condiciones marinas. El uso de difusores mejora dicho proceso, ya que elevan la presión del agua entrante y ponen en contacto con la masa de agua de mar un mayor volumen de rechazo, mejorando la mezcla. El éxito de esta tecnología depende del número y el espaciado de los difusores, aunque es posible mejorar su eficacia con un tipo de difusores especiales o bien con el uso de difusores directos en ángulo de 30-90° respecto del fondo del mar, que lanzan la salmuera en dirección a la superficie. [24]



Figura 12. Esquema de un emisario submarino con difusores.

2.7. Componentes principales

Las plantas de ósmosis inversa de agua de mar disponen de los siguientes elementos y sistemas auxiliares:

2.7.1. Bombas de alta presión.

Estos elementos son necesarios para aportar la presión necesaria al agua de mar a la entrada de las membranas. Normalmente cada bastidor RO es alimentado con una bomba de alta presión, siendo la presión de operación entre 5 y 6,5 MPa para el agua de mar con una concentración inferior a 40.000 mg/L TDS. Sin embargo, existen plantas en las cuales una o más bombas de alta presión alimentan en paralelo algunos bastidores de RO.

La bomba de alta presión es el corazón del sistema SWRO. Utiliza una tecnología avanzada, incluida la dinámica de fluidos por ordenador, para conseguir el mejor rendimiento del sistema. Esta esencial bomba se fabrica con materiales resistentes a la corrosión para garantizar una larga vida de rendimiento sin degradación. El consumo de energía de este equipo es el más elevado en este tipo de plantas, por lo que su rendimiento energético es un parámetro muy importante a tener en cuenta. Para su correcto dimensionamiento es necesario conocer el punto de operación de la bomba, es decir el caudal suministrado y la altura aportada al fluido.

La bomba booster o bomba de circulación es un equipo que se utiliza para elevar la presión del flujo de alimentación a la salida de los intercambiadores de presión hasta la presión a la salida de la bomba de alta presión. Este equipo es de menores dimensiones que la bomba de alta presión, pues el salto de presión es mucho menor, en torno a 2 bar, y por lo tanto su consumo de energía será más reducido. [25]

Una vez realizada la captación del agua, esta es impulsada mediante bombas de alta presión a los bastidores de membranas; estas bombas suministrarán la presión necesaria para que se realice el proceso de ósmosis inversa. Es fundamental realizar una buena elección de la bomba a usar, ya que es en la etapa de bombeo donde se consume más energía. Algunos de los parámetros a tener en cuenta para dicha elección serán:

- Presión de bombeo
- Rendimiento
- Mantenimiento
- Consumo de energía

Las bombas de alta presión se pueden dividir según dos tipos:

2.7.1.1. Bombas de desplazamiento positivo o alternativas.

Estas bombas se basan en la transformación de energía mecánica en hidráulica. Suministran la misma cantidad de líquido en cada ciclo o revolución del elemento de bombeo, independientemente de la presión que encuentre el líquido a su salida.

Estas bombas guían al fluido que se desplaza a lo largo de toda su trayectoria, el cual siempre está contenido entre el elemento impulsor, que puede ser un embolo, un aspa, un diente de engranaje, un tornillo, etc. y la carcasa o el cilindro.

“El movimiento del desplazamiento positivo” consiste en el movimiento de un fluido causado por la disminución del volumen de una cámara; por tanto, en una máquina de desplazamiento positivo, el elemento que origina el intercambio de energía no tiene necesariamente movimiento alternativo (émbolo), si no que puede tener movimiento rotatorio (rotor); de ahí que estas bombas se puedan clasificar a su vez en: Recíprocas o Rotatorias.

Estas bombas de desplazamiento positivo también reciben el nombre de bombas volumétricas, debido a que siempre hay una cámara que aumenta de volumen (succión) y disminuye volumen (impulsión).

Una de las ventajas del uso de estas bombas es que no necesitan “cebarse” para poder operar, es decir, no es necesario llenar previamente el tubo de succión y el cuerpo de la bomba para que esta pueda iniciar su funcionamiento, tal y como sucede en las bombas centrífugas, las cuales explicare a continuación de estas. Otra ventaja, quizá la más importante es que estas bombas poseen un alto rendimiento hidráulico y un bajo consumo energético. También hay que mencionar algunas de las ventajas que presentan, como el hecho de que la presión que es suministrada por la bomba siempre es igual a la requerida por el sistema, independientemente del número de revoluciones; todo esto conlleva que las presiones que se alcancen sean muy elevadas y como consecuencia tengan que ser instaladas válvulas de seguridad.

Un inconveniente es que generan muchas vibraciones debido a que suministran una presión y un caudal intermitentes. Hay diversos sistemas para minimizar estas vibraciones, como sistemas silenblock y mangueras antivibración para aislar

la bomba de la instalación y amortiguadores de pulsaciones para minimizar las vibraciones de la bomba.

Estas bombas de desplazamiento positivo se suelen usar en plantas pequeñas en las que se opere con altas presiones. [26]

2.7.1.2. Bombas centrífugas.

Las bombas centrífugas mueven un cierto volumen de líquido entre dos niveles; son por tanto máquinas hidráulicas que transforman la energía mecánica de un impulsor rotatorio llamado rodete en energía cinética y potencial requerida. Esta clase de bomba está formada por los siguientes elementos constructivos:

- Una tubería de aspiración
- Impulsor o rodete, que está constituido por una serie de alabes de diversas formas que giran dentro de una carcasa circular llamada voluta. El rodete va unido al eje y es la parte móvil de la bomba.

El funcionamiento de esta es sencillo: El fluido penetra axialmente por la tubería de aspiración hasta el centro del rodete, que es movido por un motor. Los alabes que conforman el rodete someten a las partículas del fluido a un movimiento de rotación muy rápido, siendo proyectadas hacia el exterior por la fuerza centrífuga que se genera, de tal manera que abandonan el rodete hacia la voluta a gran velocidad, aumentando su presión según la distancia al eje. La elevación del fluido se produce por la reacción entre este y el rodete, el cual lleva un movimiento de rotación. La voluta, que tiene forma de caracol, tiene como función recoger al fluido que lleva gran velocidad, disminuirla y actuar como un transformador de energía, transformando parte de la energía dinámica creada en el rodete en energía de presión, al mismo tiempo que cambia la dirección del movimiento del fluido y lo encamina hacia la brida de impulsión de la bomba por donde evacua el mismo.

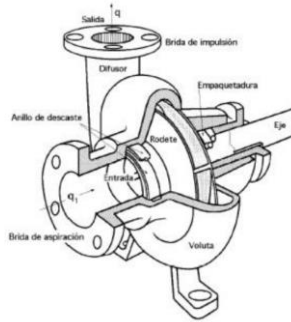


Figura 13. Bomba centrífuga.

Las propiedades de esta clase de bombas son las siguientes:

- Según va aumentando la presión el caudal disminuye
- El caudal es uniforme
- La potencia que absorbe la bomba es proporcional al peso específico del fluido
- Para el funcionamiento de una bomba centrífuga el motor que se requiere es pequeño y la potencia absorbida a lo largo del funcionamiento es continua y libre de cargas.

Estas bombas, aun teniendo menor rendimiento hidráulico que las de desplazamiento positivo, son las más usadas debido a que el mantenimiento que necesitan es sencillo y además son fiables. Existen cuatro tipos de bombas centrífugas:

- Bomba de cámara partida horizontal
- Bomba segmentada
- Bombas centrífugas con tubo de Pitot
- Bombas centrífugas de alta velocidad

Dependiendo del tipo de instalación en la que se utilicen y del tamaño de esta, se optará por la utilización de un tipo u otro de bomba. [27]

2.7.2. Sistema de recuperación de energía.

Este sistema lleva a cabo la transferencia de energía entre la salmuera y la alimentación. Décadas atrás, los sistemas centrífugos que utilizaban turbinas Pelton habían sido los más aceptados en las plantas de alta capacidad de SWRO debido a su fiabilidad y eficiencia, típicamente hasta el 80%. Actualmente, hay varios fabricantes de intercambiadores de presión como por ejemplo ERI (PX). Algunos de estos dispositivos alcanzan una eficiencia del 97% desde la corriente de salmuera a la alimentación. Obtienen un excelente consumo de energía específica entre 1,80 y 2,20 kWh/m³ en las nuevas plantas instaladas de SWRO.

El objetivo de un recuperador de energía en las instalaciones de plantas desaladoras de aguas es aprovechar la energía en forma de presión que tiene el caudal de rechazo a la salida del bastidor de ósmosis inversa, para ello, se transfiere esta energía al agua de alimentación del sistema. Esto constituye una mejora en el diseño de plantas de ósmosis inversa, desde el punto de vista de optimización del consumo de energía del proceso.

Para la recuperación de energía en sistemas de desalación existen o han existido diferentes opciones. Por ejemplo, las plantas con sistemas de turbina Francis, actualmente es una tecnología obsoleta ya que los valores de consumo específico no eran deseables ni los valores de rendimiento, que eran relativamente bajos, por otro lado, las turbinas Pelton también han sido desplazadas por otras tecnologías en la actualidad, debido también a los bajos valores de rendimiento. Las opciones que se tienen en cuenta para este proyecto son sistemas con un equipo turbocharger o con intercambiadores de presión.[28]

2.7.2.1. Turbinas Francis

Fueron ideadas a mediados del siglo XIX para instalaciones hidroeléctricas en EEUU y pueden emplearse dentro de una amplia gama de caudales (entre 2 y 200 m³ /s). No fue hasta comienzo de los años 90 cuando fueron utilizadas como sistemas de recuperación de energía en las plantas de OI de Canarias. Las mismas se montaron en el mismo eje que la bomba de alta presión, reduciendo así el consumo de la misma y logrando un rendimiento del orden del 77%. En 2014, muchas de estas turbinas ya habían sido sustituidas por sistemas más novedosos y eficientes, aunque otras aún estaban funcionando. El agua al llegar a las palas fijas de la cámara espiral y las palas directrices del distribuidor provoca el giro del

rodete, disminuyendo su presión y cediendo su energía cinética al llegar a los álabes. Finalmente, a la salida del rodete, el tubo de aspiración produce una depresión o, en otras palabras, una succión. Estas turbinas son de rendimiento óptimo, pero solamente entre unos determinados márgenes (para 60% y 100% del caudal máximo). [29]

Está formada por: una cámara espiral, un difusor, un rodete, un tubo de aspiración, un eje, un equipo de sellado del eje, un cojinete guía de turbina y un cojinete de empuje. En la siguiente imagen se puede observar el aspecto de una turbina Francis:



Figura 14. Turbina Francis.

2.7.2.2. Turbinas Pelton.

Esta turbina emplea el caudal de rechazo que se produce en el proceso de osmosis inversa, transformando la energía de presión del mismo en energía cinética en el distribuidor; este distribuye, dirige y acelera el chorro de fluido hacia el rodete, pasando primero por el inyector que está compuesto por una válvula de aguja y un deflector. La válvula de aguja regula el caudal del fluido y el deflector evita que se produzca el golpe de ariete; desde aquí el fluido pasa al rodete y se hace incidir sobre los alabes o cucharas del mismo tangencialmente, dentro del rodete se transforma la energía cinética en energía de rotación. El fluido sale de los alabes y es dirigido hacia la tubería de descarga. Rígidamente unido al rodete se sitúa el eje de la turbina que está dispuesto sobre cojinetes debidamente lubricados; este transmite el movimiento de rotación que lleva el fluido al salir del rodete al eje de la bomba de alta presión.

Esta clase de turbinas se han utilizado en plantas de capacidad mediaalta y son de fácil mantenimiento.

El consumo específico que resulta al utilizar estas turbinas se reduce hasta 4 kwh/m³, pero con la aparición de los intercambiadores de presión el uso de estas turbinas ha sido relegado a un segundo plano. [30]

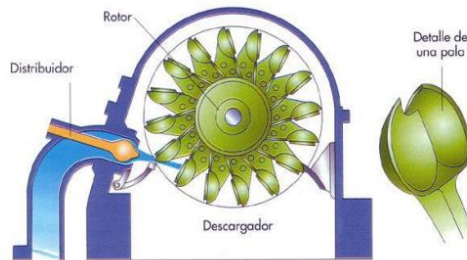


Figura 15. Turbina Pelton.

2.7.2.3. Turbocharger.

Con un equipo turbocharger que normalmente se instala entre la descarga de la bomba de alta presión y las membranas, donde actúa como una bomba booster de alta presión y como recuperador centrífugo de la energía proveniente del rechazo, no existe la necesidad de prever un motor de accionamiento eléctrico debido a su funcionamiento hidráulico lo cual constituye una gran ventaja.

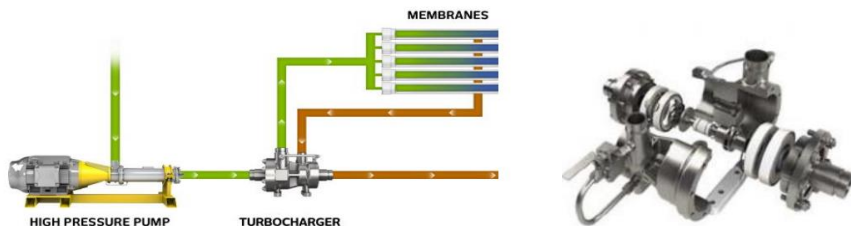


Figura 16. Esquema de instalación con turbocharger. (Fuente: Energy Recovery)

Los recuperadores de tipo isobárico como son los intercambiadores de presión transfieren directamente la presión del agua de rechazo de las membranas al agua

de alimentación que proviene de la bomba de alta presión. Las ventajas que presenta este tipo de recuperador a parte de su alto rendimiento son que el caudal de la bomba de alta presión y permeado son prácticamente los mismos, la bomba de alta presión y los sistemas de recuperación de energía se pueden alimentar independientemente y además este sistema permite dar flexibilidad y trabajar con conversión variable en la operación. [31]

2.7.2.4. Energy Recovery INC (ERI).

El sistema de recuperación de energía ERI o “Sistema Revólver”, se trata de un sistema de conversión hidráulica dinámica y consiste en una cámara de desplazamiento rotativo, que gira sobre su eje constantemente, dentro de una carcasa, provisto de conductos en su interior que lo atraviesan. Se instalan diversas unidades en paralelo.

Al igual que los dispositivos de desplazamiento positivo, su funcionamiento se basa en utilizar la presión de salida de salmuera para aumentar la presión del agua de alimentación. Ambos sistemas de desplazamiento constituyen las cámaras isobáricas (CIP).

El sistema posee cuatro conducciones, dos para el agua de alimentación y dos para el rechazo o salmuera, a través de las cuales se llenan y vacían las cámaras con agua de alimentación y/o salmuera (alternativamente), tanto en la fase de alta presión como en la de baja. La rotación del rotor es realizada por la misma agua, por lo que no se necesita ninguna válvula ni motor para que funcione. Tampoco dispone de pistones para favorecer la separación física de ambas corrientes, por lo que hay una ligera retromezcla de importancia muy limitada ya que nunca supera el 5 o 6%.

El ciclo de operación de este tipo de intercambiadores de presión es el siguiente:

- A) El agua de alimentación a baja presión llena la cámara del rotor, desplazando la salmuera a baja presión.
- B) La cámara del rotor sella y gira a la posición de entrada de salmuera a alta presión, produciéndose un intercambio de presión con el agua de alimentación a baja presión que contiene.

- ### Step 3: Set PX booster flow rate and start main HP pump.
-
- The diagram illustrates the process of setting the PX booster flow rate and starting the main HP pump. The system includes a Main High Pressure Pump, PX Booster Pump, PX Rotor, PX High Pressure Outlet, PX Low Pressure Inlet, Seawater Pump, and various flow control valves (VFD, FM, H, X).
- Flow Rates and Pressures:**
- Main High Pressure Pump:** 0 flow, 2 bar.
 - PX Booster Pump:** 58.8 flow, 0 bar.
 - PX High Pressure Outlet:** 58.8 flow, 1 bar.
 - PX Low Pressure Inlet:** 58.8 flow, 2 bar.
 - Seawater Pump:** 58.8 flow.
 - Permeate:** 0 flow.
 - Air Vent:** 58.8 flow, 1 bar.
 - PX High Pressure Inlet:** 58.8 flow, 1 bar.
 - PX Low Pressure Outlet:** 58.8 flow, 1 bar.
 - Low Pressure Brine:** 58.8 flow, 1 bar.
- Control Elements:**
- Start HP Pump:** Button to start the Main High Pressure Pump.
 - Stop Booster:** Button to stop the PX Booster Pump.
 - VFD:** Variable Frequency Drive for the PX Booster Pump.
 - FM:** Flow Monitor for the PX High Pressure Outlet and PX Low Pressure Inlet.
 - H:** Hand valve for the Low Pressure Brine line.
 - X:** Valve for the Low Pressure Brine line.
- End View:** A circular diagram showing the PX Rotor with 12 segments, each labeled with a number (1-12) and a pressure (1P, 2P, 3P, 4P, 5P, 6P, 7P, 8P, 9P, 10P, 11P, 12P). The rotor is shown rotating clockwise.

Contiene un cartucho de cerámica que es el corazón del dispositivo [32]. El cartucho tiene una tapa de extremo de agua de alimentación, el rotor, un manguito y tapa de extremo de concentrado como se muestra en la siguiente figura. El diseño del rotor consta de conductos axiales, que están dispuestos circularmente alrededor de una barra de tensión central. Gira en el manguito y ambas tapas de los extremos encierran el rotor. Las superficies de sellado y cojinete también están hechas de cerámica y la lubricación de la superficie de cepillado se logra mediante el agua de alimentación a alta presión. La cubierta del extremo en el extremo del concentrado consiste en un puerto de concentrado de alta presión para permitir la entrada de HP IN (concentrado de HP) y también un puerto de concentrado de baja presión para el concentrado que fluye hacia afuera (LP OUT). En el lado de la cubierta del extremo del agua de alimentación, hay dos puertos de agua de alimentación denominados LP IN y HP OUT. Para el diseño

de este elemento, la cerámica es la elección natural debido a su tenacidad, propiedad de resistencia a la corrosión y estabilidad dimensional [33].

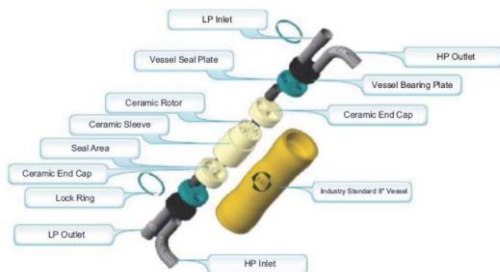


Figura 18. Vista por piezas de un ERI.

La siguiente figura muestra el ciclo operativo del dispositivo. Como se explicó anteriormente, un conducto del rotor está expuesto en los puertos de la tapa del extremo LP IN y LP out. Como se muestra en el Paso 1, el LP alimenta el agua al conducto del rotor. El posicionamiento y la ubicación de los puertos del rotor es tal que proporciona un flujo tangencial que ejerce una fuerza de giro sobre el rotor. Los conductos del rotor terminan en una zona de sellado donde el flujo se detiene y el conducto se sella del circuito de flujo de HP y LP como se ve en el paso 2. El conducto gira más para exponer el concentrado de HP entrante que presuriza el agua de alimentación y la empuja aún más hacia las membranas como se muestra en el paso 3. El rotor continúa avanzando hasta que el conducto se sella como se ve en el paso 4 y el ciclo completo comienza de nuevo [34].

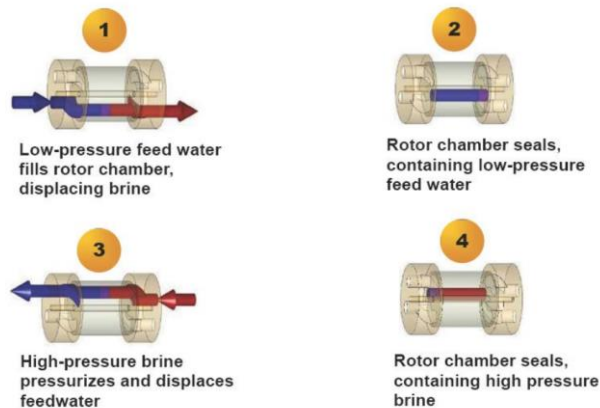


Figura 19. Ciclo operativo de un ERI.

Se trata de un equipo capaz de adaptarse a la capacidad de producción de diferentes plantas de ósmosis inversa, por lo que han sustituido en muchas plantas antiguas al sistema de recuperación de energía que tenían instalado con el objetivo de aumentar la eficiencia y reducir el consumo (retrofitting). En la siguiente tabla se muestran las diferentes posibilidades que ofrece la compañía, equipos que tienen una capacidad desde 4,54 m³ /h hasta 68,1 m³ /h. Esta última pertenece al recuperador PX-Q300, el cual posee una eficiencia de hasta el 98%. En esta serie, PX Q series, los equipos tienen una reducción de ruido, rondando los 81 decibelios. Además de contar con una disminución de la mezcla de fluidos, entre la salmuera y el agua de alimentación.

PX Model	Minimum Guaranteed Efficiency*	Flow Range per Unit (brine flow)
PX-Q300	97.2%	45.4 - 68.1 m ³ /h
PX-Q260	96.8%	40.8 - 59 m ³ /h
PX-260	96.8%	40.8 - 59 m ³ /h
PX-220	96.8% (@45.4 m ³ /h)	31.7 - 49.9 m ³ /h
PX-180	96.7% (@36.3 m ³ /h)	22.7 - 40.8 m ³ /h
PX-140	94.8% (@22.7 m ³ /h)	20.4 - 31.7 m ³ /h
PX-90	96.0% (@15.8 m ³ /h)	13.6 - 20.4 m ³ /h
PX-70	95.3% (@11.3 m ³ /h)	9.08 - 15.8 m ³ /h
PX-45	94.0% (@7.9 m ³ /h)	6.81 - 10.2 m ³ /h
PX-30	93.4% (@5.6 m ³ /h)	4.54 - 6.81 m ³ /h

Tabla 4. Modelos ERI PX con su respectiva eficiencia y rango de caudal permitido. FUENTE: ERI PX

Cabe destacar que se deben instalar en paralelo, aumentando así el caudal permitido en desalinizadoras más grandes.

Utilizando este sistema, la bomba de alta presión tendrá que bombear el mismo caudal de alimentación que de agua producto, con la consiguiente reducción de consumo energético.

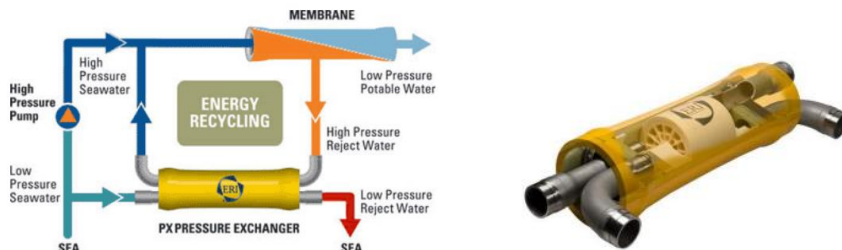


Figura 20. Esquema de instalación con intercambiador de presión.

(Fuente: Energy Recovery)

2.7.2.5. Isobárico DWEER.

Se trata de un dispositivo isobárico con un funcionamiento muy sencillo. Una sola unidad consta de dos recipientes de presión, cuatro válvulas de retención, y una válvula de control LinX.

Su propósito es conservar la energía usando el caudal de salmuera de alta presión para presurizar un caudal igual de alimentación de agua de mar.

Permite obtener una buena eficiencia energética y es capaz de tratar altos caudales, aunque necesita un mayor espacio y un sistema de control para regular, de forma alternativa y secuencial, la apertura y cierre de las válvulas, así como la velocidad y sentido de los pistones durante la operación del sistema.

La salmuera de alta presión de las membranas entra en la válvula LinX y es dirigida por su pistón a la cámara 1 (Figura 21) que está llena de agua de mar a baja presión. En la cámara, la presión de la salmuera se transfiere al agua de mar que sale a través de una válvula de retención, desde ahí el agua de mar se dirige a la línea de alimentación de alta presión a membranas, a través de una de bomba de recirculación.

Simultáneamente, el agua de mar a baja presión se introduce en la cámara 2 (Figura 21) que contiene salmuera a baja presión. A medida que el agua de mar llena el recipiente, la salmuera de baja presión se vacía a través de la válvula LinX.



Figura 21. Funcionamiento de Recuperador Isobárico de DEWEER. Paso 1.

En este momento la válvula LinX actúa de nuevo y el proceso se repite, pero en los recipientes opuestos. Ahora a medida que la salmuera de alta presión entra en la válvula LinX se dirige a la cámara 2 (Figura 22) donde presuriza el agua de mar introducida durante el ciclo medio anterior. Al mismo tiempo en la cámara 1 (Figura 22), el agua de mar a baja presión desplaza la salmuera a baja presión para expulsarla, y el ciclo se repite.

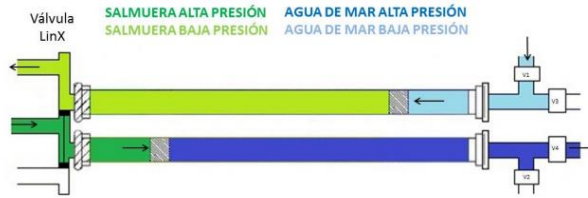


Figura 22. Funcionamiento de Recuperador Isobárico de DEWEER. Paso 2.

Un ciclo completo dura 12 segundos aproximadamente, de esta manera, se pueden tratar hasta 350 m³/h, por lo que las cámaras tienen una capacidad 1166,66 litros. Para conseguir mayores caudales se instalan múltiples unidades en paralelo, como el ERI, obteniéndose hasta un 98% de rendimiento mecánico.



Figura 23. Aspecto de un recuperador energético DWEER

FUENTE: FLOWSERVE

Entre sus características principales, se encuentran la tolerancia a la suciedad del agua, evitando así tratamientos de filtración o de limpieza con aditivos, niveles de ruido relativamente bajos, menos de 83 decibelios, larga vida útil y bajos costes de mantenimiento. [35]

2.7.2.6. iSave ERDs.

El recuperador energético iSave ERDs de Danfoss incluye un intercambiador de presión isobárico y una bomba de desplazamiento positivo. La bomba de alta presión se basa en el principio de las bombas de paletas por lo que permite un

diseño muy ligero y compacto. Además, la lubricación de las partes móviles está asegurada por el propio fluido (agua de mar).

Existen dos equipos de diferente capacidad que utilizan el mismo sistema, el iSave 50 y el iSave 70. El primero soporta, según datos del fabricante, un caudal de entre 41 y 52 m³/h y el segundo un caudal de entre 50 y 70 m³/h. En cuanto a la eficiencia, se indica que, a 60 bar y máxima velocidad, el recuperador energético iSave 50 tiene una eficiencia del 93% y el iSave 70 del 92%.

Según el fabricante es un equipo de larga vida útil, con alta eficiencia y con pocos requerimientos de mantenimiento durante el servicio.

En las bombas de paletas el caudal es proporcional al número de revoluciones (rpm), permitiendo el control de flujo. A diferencia de una bomba centrífuga, produce el mismo flujo a una velocidad dada independientemente de la presión de descarga.

El iSave está operado por un motor eléctrico que proporciona el control de velocidad tanto del intercambiador de presión como de la bomba de refuerzo de alta presión. Mediante el uso de un variador de frecuencia (VFD), el motor aplica un par constante desde baja velocidad hasta máxima velocidad. Aunque otros sistemas CIP pueden agrupar varios dispositivos en paralelo, al llevar cada uno su propia bomba de desplazamiento positivo, en este caso puede resultar menos económico por lo que se suele unificar el flujo de salida y se lleva a una única bomba booster de suministro de la pequeña sobrepresión necesaria para alcanzar la presión deseada.

Entre los beneficios se encuentran:

- Ahorros significativos de energía y bajo consumo específico (SEC).
- Instalación sencilla y económica, ya que incluye bomba e intercambiador de presión en una sola unidad.
- Diseño y monitorización sencilla del sistema sin necesidad de medidores de flujo de alta presión.
- Operación sencilla con diseño que evita la sobreexpansión.
- Resistencia a la corrosión, ya que todas las partes que estarán en contacto con el agua están fabricadas de materiales como Super Duplex, altamente resistentes a la corrosión.

Para alargar la vida útil del equipo y asegurar su funcionamiento, se requiere la instalación de un sistema filtrado del agua de alimentación de $3\ \mu\text{m}$ ya que evita que en el rotor se genere ensuciamiento o biofouling.

En cuanto al ruido, este variará en función de la velocidad, las conexiones, del variador de frecuencia y el montaje. En este caso, el ruido es inferior al de otros recuperadores energéticos, exceptuando el RO-Kinetic, cuyo nivel sonoro ronda los 10 dB.

Se trata de un dispositivo especialmente diseñado para mediana y pequeña escala, hoteles, plataformas petrolíferas, desaladoras municipales o privadas, etc. [36]

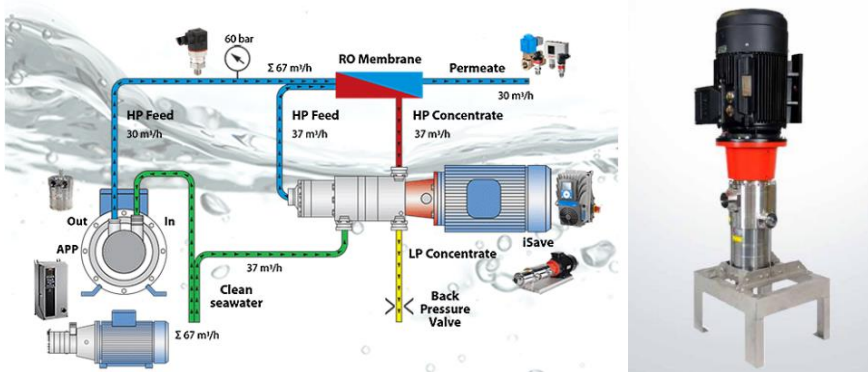


Figura 24. Aspecto del recuperador energético iSave

FUENTE: Danfoss España

2.7.2.7. RO-Kinetic.

Este sistema de recuperación energética puede ser implantado tanto en plantas existentes, que quieran reducir su consumo energético, como en plantas de nueva construcción.

El principio en el que se fundamenta es la propiedad de los líquidos de ser incompresibles, lo que permite someter a una masa de agua a una cierta presión sin gasto de energía. Para llevar a cabo este principio se hace uso de cámaras isobáricas.

Se trata de presurizar con la bomba de alta presión el agua de captación acumulada en la cámara isobárica. Esto se consigue haciendo un circuito cerrado entre la salida de la membrana (salmuera) y la entrada al bastidor (agua de mar), donde se ha interceptado un depósito de agua (cámara isobárica) y una bomba booster.

La salida de salmuera y la entrada a las membranas están aproximadamente a la misma presión estática, que les comunica la bomba de alta presión. Se necesita que la salmuera se desplace hacia la cámara isobárica y desplace el agua de captación, inicialmente contenida en la cámara, hacia la entrada del bastidor.

Para lograrlo, es necesario crear un diferencial de presión dinámico para vencer las pérdidas de carga que tienen lugar en las membranas y en la cámara isobárica. La bomba booster será la encargada de crear este diferencial de presión, de modo que, las membranas se verán alimentadas por el agua procedente de la bomba de alta presión y de una cantidad de agua igual al rechazo, con únicamente el pequeño consumo de la bomba booster.

Como se ha comentado anteriormente, durante el proceso se producen caídas de presión en las membranas y en el Kinetic. En las membranas las pérdidas están entre 1 y 2 bar y en el Kinetic alrededor de 1 bar. Por lo tanto, la bomba booster deberá salvar un salto de presión de unos 3 bar aproximadamente.

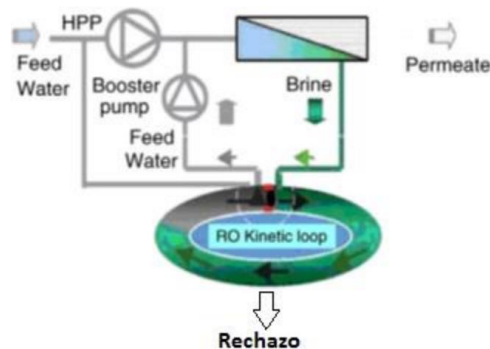


Figura 25. Proceso de ósmosis inversa con recuperador energético RO Kinetic.

Este sistema está constituido por dos cuerpos de válvulas servocomandadas separadas entre sí por dos válvulas diferenciales. Los cuerpos de válvulas son los

encargados de distribuir de forma secuencial las entradas y salidas, de agua de mar y de salmuera, en las cámaras. El diseño de estas válvulas evita que se produzcan turbulencias y excesivas pérdidas de carga.

La principal característica es que las cámaras isobáricas tienen forma de anillo o bucle cerrado, de tal manera que el agua que entra y sale de éstas, que hay que presurizar y despresurizar, está siempre en continuo movimiento, evitando con las paradas el gasto innecesario de la energía cinética. Las válvulas inerciales constituyen la prolongación de estas cámaras isobáricas. El paso de una cámara a otra se realiza sin prácticamente cortes, debido a la velocidad de accionamiento de las válvulas, ejecutándose en un ciclo cinético continuo (M. Barreto, 2010).

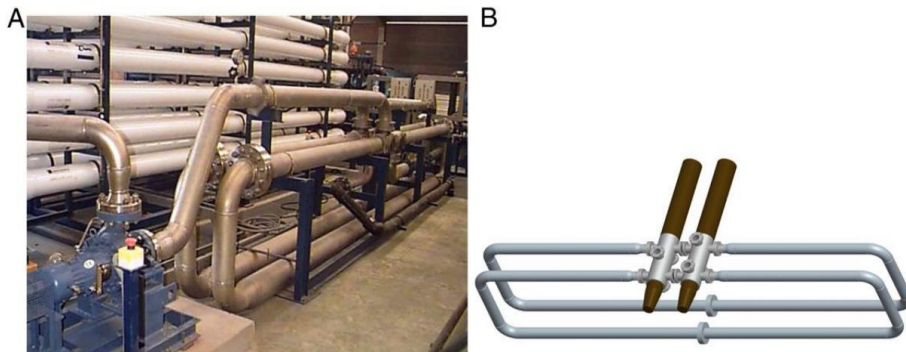


Figura 26. A) Instalación con un sistema de recuperación energética RO Kinetic
B) Aspecto de un recuperador energético RO Kinetic

FUENTE: M. Barreto

Además, se trata de un sistema que nos permite reducir el consumo específico de energía en valores comprendidos entre 2 y 2,2 kWh/m³.

Su implantación es limitada a plantas de tamaño mediano y no está muy extendida a pesar de sus buenos resultados, quizá por no poseer aún la adecuada comercialización. La planta de mayor capacidad de producción hasta la fecha, 166,67 m³/h, es la del Confital, localizada en el Sur de Tenerife. [37]

2.7.2.8. Recuperadores energéticos más recientes

Actualmente se siguen investigando diseños de recuperadores energéticos basados en cámaras isobáricas, como el ISOBARIX XPR y el Salino Pressure Center de KSB. Aun así, se necesitan dispositivos pensados para plantas de pequeña escala, la mejora de ciertos inconvenientes en los actuales sistemas y el diseño de nuevos dispositivos para que puedan ser puestos en servicio en régimen variable para plantas de mediana y gran producción.

2.7.2.8.1. Isobarix XPR.

Isobarix XPR (“aXle positioned rotor”) es un intercambiador de presión que consiste en un rotor con múltiples conductos coaxiales, donde una mitad es la parte de baja presión y la otra mitad la parte de alta presión. Entre ellas hay áreas de sellado, donde los conductos están aislados de cualquier comunicación con cualquier flujo, lo que produce un menor porcentaje de mezclas. El equipo es muy similar al recuperador ERI.

Como dato de interés, el director de la empresa, Leif J. Hauge, es el fundador de Energy Recovery Inc. Este asegura que su dispositivo permite caudales de 60 a 100% mayores, con un tamaño igual al de los ERI-PX.

Si el rotor no está girando, la salmuera a 60 bar pasará por el lado de alta presión de los conductos hacia la bomba Booster que le aumentará la presión hasta 62 bar, y el agua de alimentación, aproximadamente a 1 bar irá por el lado de baja presión de los conductos y volverá al mar.

Para alimentar la membrana de ósmosis inversa de agua de mar a alta presión, la salmuera entra a alta presión desplazando el agua de alimentación y suministrándole una presión de hasta 58,95 bar. A continuación, se hace pasar por una bomba Booster que le aporta la presión restante, hasta 62 bar. Finalmente, el agua de mar entra en los conductos y fluye en la dirección opuesta, forzando a la salmuera regresar al mar a presión atmosférica. [38]

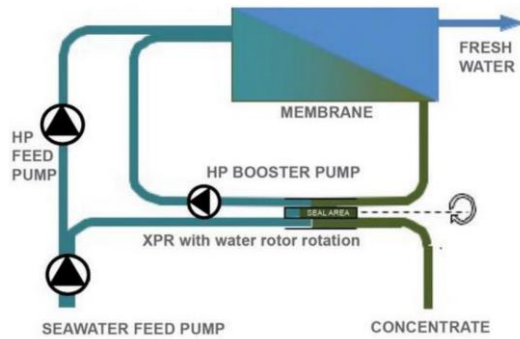


Figura 27. Proceso de ósmosis inversa con recuperación energética con el equipo ISOBARIX XPR.

Existen diferentes tamaños para diferentes capacidades, todos ellos se muestran en la siguiente tabla, correspondiente a la ficha técnica de Isobarix XPR, en la que se indica el diámetro del rotor, el modelo, y flujo máximo permitido, así como una imagen con el tamaño relativo del equipo.

ROTOR DIAMETER	3"			4"			5"			6"			8"		
XPR-MODEL	309SS	309SM	309SL	409SS	409SM	409SL	509SS	509SM	509SL	609SS	609SM	609SL	809SS	809SM	809SL
MAX FLOW, GPM	30	38	45	65	80	95	120	150	175	190	240	280	400	500	600
MAX FLOW, M3/H	7	9	10	15	18	22	27	34	40	43	55	64	91	114	137
RELATIVE SIZE															

Tabla 5. Modelos disponibles de Isobarix XPR.

En la siguiente imagen se observa el interior del dispositivo Isobarix XPR, con información detallada de las diferentes partes que lo componen.

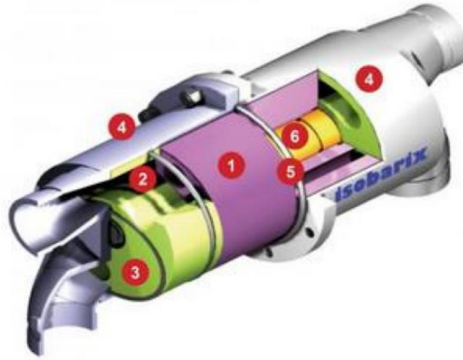


Figura 28. Interior de un recuperador de energía Isobarix XPR.

1. Rotor de posición del eje.
2. Zonas de recogida y salida de salmuera y agua de alimentación.
3. Cavidad de baja presión.
4. Recubrimiento de titanio G2 del montaje cerámico interior.
5. Sello externo del recipiente de presión.
6. Eje, fijado a los extremos.

2.7.2.8.2. Salino pressure center de KSB.

Se trata de un sistema compacto, tipo CIP, en el que cada unidad consta de una bomba de pistón axial y un motor de pistón axial en un mismo eje. El motor es impulsado por el flujo de salmuera y transfiere directamente su energía a través del eje.

Cada dispositivo nos permite crear alta presión en el agua de mar, compensar las pérdidas de presión producidas por el propio proceso de ósmosis y recuperar energía utilizando la salmuera. Además, no es necesaria la implementación de ninguna bomba de refuerzo como en los demás casos, ya que todo el sistema funciona con un solo motor eléctrico y un convertidor de frecuencia, es decir, como un 4 en 1: bomba de alta presión, accionamiento eléctrico, bomba de refuerzo y sistema de recuperación energética.

Según la compañía KSB, el Salino Pressure Center consigue un ahorro de energía de hasta un 70% en comparación con un sistema sin recuperación energética. Además de reducir considerablemente la huella de carbono, el espacio necesario de la instalación y eliminar la lubricación con aceite, ya que se realiza a base de agua.

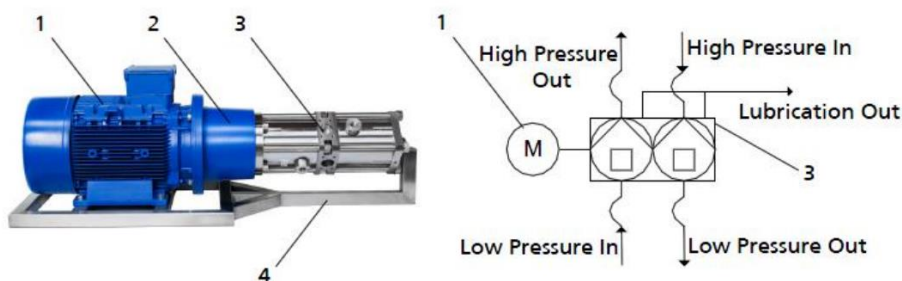


Figura 29. Partes de un recuperador Salino Pressure Center.

El equipo posee un sistema de control integrado en cada módulo que puede responder a la fluctuación del contenido en sales del agua de mar a procesar. Por otro lado, es un dispositivo fácil de manejar, con bajos costes de inversión y de mantenimiento.

Technical data

Feed water flow rate	23 m ³ /h
Drinking water yield	up to 250 m ³ /d
Operating pressure (higher operating pressure on request)	70 bar
Motor rating	29 kW
Temperature	up to +50 °C

Figura 30. Especificaciones del recuperador energético Salino Pressure Center.

En primer lugar, el agua llega al equipo Salino Pressure Center con una presión de 2,5 bar (mínima como requerimiento técnico). En este momento se activa el convertidor de frecuencia y el motor comienza a girar a 600 rpm. El agua de mar llegará al bastidor y al no tener la suficiente presión, esta saldrá de nuevo por el

conducto de la salmuera, haciéndose llevar una parte por el recuperador energético y otra parte por la purga.

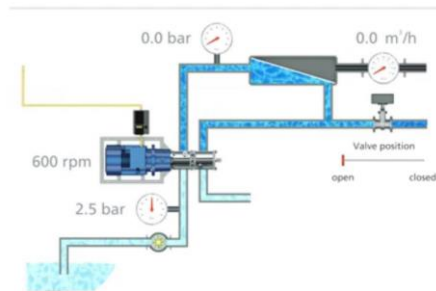


Figura 31. Proceso de ósmosis inversa con un recuperador compacto Salino Pressure Center. Paso 1

A continuación, se va cerrando gradualmente la válvula de purga de la salmuera, provocando un aumento en la presión del agua de alimentación. Esto hace que del bastidor comience a salir agua producto.

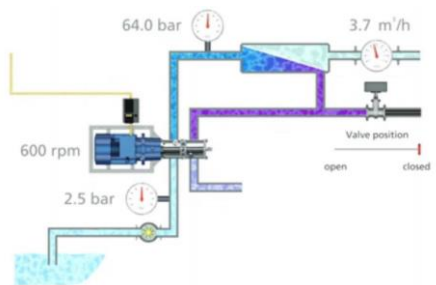


Figura 32. Proceso de ósmosis inversa con un recuperador compacto Salino Pressure Center. Paso 2

Por último, la velocidad del motor aumentará hasta la necesaria para alcanzar las condiciones deseadas. De este modo se consigue aprovechar la presión del caudal de salmuera, ayudando en el giro del eje del motor de pistones axiales, es decir transformando su energía en energía mecánica. [39]

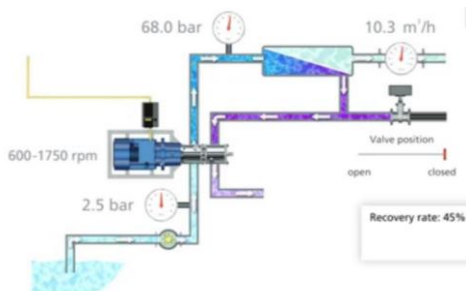


Figura 33. Proceso de ósmosis inversa con un recuperador compacto Salino Pressure Center. Paso 3 Aporte de energía.

2.7.2.9. Comparación entre recuperadores de energía.

A continuación, se puede observar una tabla comparativa con los sistemas de recuperación de energía más utilizados en las islas Canarias. En ella se analiza el mantenimiento rutinario, las desventajas y ventajas de cada equipo, en función de preguntas realizadas a operarios de plantas de Ósmosis Inversa (estudio realizado por Baltasar Peñate Suárez, Dr. Ingeniero Industrial, Jefe del Departamento de Agua del Instituto Tecnológico de Canarias). [40]

Equipo	Mantenimiento	Desventajas	Ventajas
Turbinas Francis	Cambio de aceite, cambio de retenes, cambio de junta tórica, sellos, engrasado motor.	Ya es una tecnología obsoleta. No alcanza valores de consumo específicos deseables. Rendimientos relativamente bajos.	Simplicidad de tuberías. Se adapta bien a la variación de condiciones. Nos permite ajustar la producción, modificando los caudales de inyección de la turbina y ajustando la válvula de

			descarga de la bomba.
Turbinas Pelton	Cambio de aceite, cambio de retenes, cambio de junta tórica, sellos.	Ha sido desplazada casi en su totalidad por las cámaras isobáricas. Rendimientos relativamente bajos.	Simplicidad de tuberías. Se adapta a la variación de condiciones. Tiene un consumo específico menor que las turbinas Francis.
ERI-PX / ERI-PQ	Ver que no hay obstrucción en los ERIs, asegurar flujo de lubricación, biofouling.	No tolera objetos extraños. Alta emisión de ruido (>92 dB). Problemas teóricos de mezcla y atoramiento, aunque en la práctica ningún operador de planta se quejó de esto. En tomas abiertas puede generar problemas.	Robusto, fácil mantenimiento y poco gasto de mantenimiento. Ligero, lo que facilita su montaje/desmontaje y mantenimiento. Es modular y ocupa poco espacio. Capacidad máxima: 68 m³/h.
Deweer	En muelles de válvulas de retención, juntas de los pistones y válvulas LinX, picaduras por corrosión.	Problemas de soldaduras mal acabadas. Fallos en bomba de aceite y en válvula solenoide del sistema hidráulico. Se ha	Flexibilidad operacional, capaz de tolerar fluctuaciones de caudal y presión sin degradación del rendimiento o daño del equipo. Los materiales son en

		<p>procedido a cambiar sistema de regulación hidráulico por uno eléctrico. Ocupa mucho espacio. El equipo debe estar controlado por sistema de control y todos los equipos deben estar funcionando de forma secuencial.</p>	<p>súper-dúplex. Hace poco ruido respecto a otros equipos (<80 dB). Capacidad mínima de salmuera 200 m³/día y máxima 500 m³/día.</p>
iSave ERDs	<p>Reponer aceite, cambio de retenes, sello, juntas tóricas, revisar que no hay obstrucción en el rotor, asegurar flujo de lubricación.</p>	<p>Está muy condicionado por el tamaño de la planta. El dispositivo con mayor capacidad de salmuera es el iSave 70 con 52 m³/h. Requiere exigencia en el pretratamiento. Ruido a tener en cuenta >80 dB.</p>	<p>El único control que necesita es un variador de frecuencia. Es muy compacto sin necesidad de muchas conexiones. Ocupa poco espacio. Ideal para pequeña y mediana escala.</p>
RO-Kinetic	<p>Cambio de los retenes, sellos de gomas, reparación de válvulas servocomandadas e inerciales.</p>	<p>Complejo de desarmar por la válvula reductora. Tendencia al fallo por el carácter artesanal</p>	<p>Evita el innecesario consumo de energía cinética que aparece en las paradas de operación. Permite regular los tiempos de cambio de</p>

		de la fabricación. Ha requerido cambios de acero del 904 L al Dúplex por corrosión intersticial, cambio de los retenes de las mancuernas por pérdida de agua. Ocupa mucho espacio. Capacidad máxima de 166,67 m ³ /h.	cámara mediante la gestión del variador de accionamiento de las levas del sistema.
--	--	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------

Tabla 6. Comparación de Recuperadores energéticos.

Entre los operarios el sistema ERI-PX es el más deseado debido a sus numerosas ventajas frente a los demás en plantas de mediana y gran capacidad con toma por pozo costero. En los casos en los que la recogida de agua de mar se realiza por toma abierta, el ERI-PX presenta peores comportamientos por fenómenos detectados de biofouling (acumulación de microorganismos, plantas o algas en superficies húmedas). Esto provoca un incremento en el coste de pretratamientos por lo que se prefieren instalar otros sistemas más tolerantes a este fenómeno, como el DWEER Calder.

En desaladoras de pequeña y mediana capacidad (inferior a 3000 m³/día), el sistema iSave es el equipo más prometedor, presentando consumos específicos en el proceso de desalación medidos que rondan los 2,10 kWh/m³.

En cuanto a los nuevos equipos, a continuación, se muestra una tabla comparativa con las ventajas y desventajas de los dos equipos estudiados.

Equipo	Desventajas	Ventajas
Isobarix XPR	No apto para tomas abiertas, no tolera objetos extraños y ruidoso.	Reducción de la lubricación y de las mezclas entre permeado y salmuera, eficiencia general del 1 al 2% mayor que su homólogo ERI.
Salino Pressure Center de KSB	Baja capacidad de producción, sólo apta para desaladoras de pequeña y mediana producción, aunque está presente en el mercado necesita consolidarse.	La compañía asegura un ahorro de hasta el 50% en los costes de energía, una reducción de los requisitos de mantenimiento, instalación sencilla, ahorro de espacio, no hay contacto entre salmuera y alimentación por lo que se evitan problemas de mezcla.

Tabla 7. Comparación entre los recuperadores energéticos Isobarix XPR y el Salino Pressure Center de KSB.

En comparación con los sistemas de recuperación de energía convencionales como las turbinas Pelton o las cámaras isobáricas, KSB cree que su diseño puede producir un ahorro de hasta el 50% en los costes de energía en plantas de osmosis inversa con una capacidad de hasta 480 m³/día. Asimismo, ofrece una reducción en los requisitos de mantenimiento, su instalación es sencilla y genera un ahorro de espacio, lo que hace que la unidad sea perfecta para desaladoras de pequeña y mediana producción. Durante pruebas, la unidad desalinizó un metro cúbico de agua de mar, con 35000 ppm en sales, a una potencia de aproximadamente 2kW/h. Isobarix explica que su recuperador Isobarix XPR, tiene una eficiencia general de entre un 1 y 2% mayor que el resto de recuperadores presentes en el mercado,

utilizando la mitad de lubricación y reduciendo las mezclas entre la salmuera y el agua de mar a tratar.

2.7.3. Módulos de membrana.

Las membranas tal y como se conocen son instrumentos de un material específico cuya función es la de separar en 2 fases una corriente y controlar el paso de determinados componentes de una fase a otra, obteniendo un caudal más rico en ese componente y otro libre del mismo.

Por su descripción, estas podrían asemejarse mucho a los llamados filtros, sin embargo, ambos tienen una diferencia vital. Y es que los filtros están limitados a la separación por tamaño de partículas únicamente, mientras que las membranas poseen una capacidad de separación más selectiva y pueden trabajar con tamaños de partículas más pequeños que los que soportan los filtros más finos del mercado.

Las membranas han evolucionado de tal manera que hoy día pueden clasificarse por el material del que están conformadas, por su morfología, por su geometría, por su método de separación, etc.

Por otro lado, se han llevado a cabo numerosos avances con el objetivo de que puedan soportar sin problemas las condiciones de operación actuales, además de mejorar su rendimiento para conseguir mayor caudal de permeado sin necesidad de presiones tan altas y sin variar el caudal de alimentación. De esta manera, han surgido numerosos tipos de membranas que se adaptan prácticamente a cualquier situación específica, se han añadido un mayor número de etapas y membranas a los procesos e incluso se ha extendido el uso de diferentes tipos de membrana para una misma etapa (método HID, denominado por la empresa DOW ISD, Internally Staged Design).

Actualmente el menor SEC registrado para un tipo de membrana se adjudica a las membranas tipo XLE (membrana de Filmtec), que consiguieron un SEC de 1.58 kWh/m³ con una recuperación del 42% y una densidad de flujo de 10.2 L/m²d. [41]

Las membranas por si mismas no se utilizan en la industria, ya que son un elemento poco rígido y que necesita de una estructura que la soporte y le de forma. Dicha estructura se denominan módulos de membrana y se clasifican,

generalmente, de 3 maneras diferentes dependiendo de su forma y su modo de operación. Por norma general, estos 3 tipos de módulos son de plato y marco [42], de membrana en espiral y módulos de fibra hueca. Sólo los dos últimos tipos de membranas se utilizan en plantas de desalación.

2.7.3.1. Tipos de membranas.

2.7.3.1.1. Módulos de ósmosis inversa: módulos de arrollamiento en espiral.

En un módulo de arrollamiento en espiral, los componentes básicos están formados por dos membranas unidas entre sí formando una larga bolsa enrollada alrededor de un tubo perforado que recoge en su interior el agua permeada. Se coloca una malla separadora en el interior para mantener espacio entre las membranas y crear turbulencia en el permeado. La bolsa normalmente se denomina sobre o “envelope” porque está formada por dos membranas rectangulares selladas por tres lados. Entre los distintos sobres se coloca un espaciador (malla plástica) para evitar el contacto entre las membranas de los sobres adyacentes y para permitir la circulación del agua a tratar.

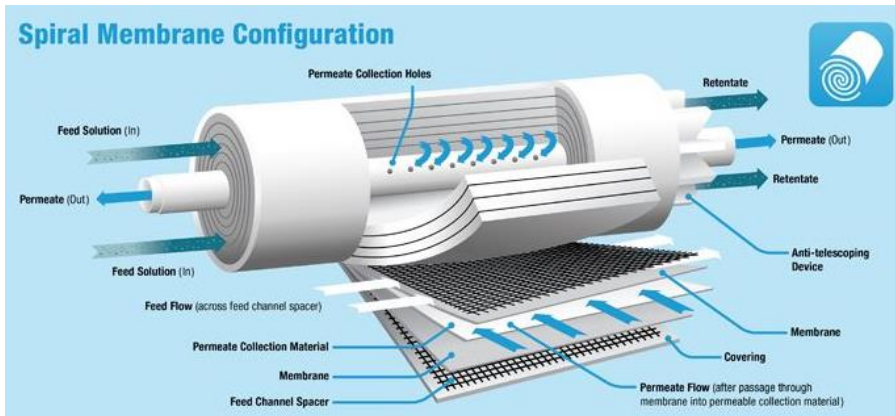


Figura 34. Configuración de membranas de arrollamiento en espiral.

La malla plástica determina los canales hidráulicos por los que circula el agua a tratar y por su forma cuadrículada garantiza un régimen de funcionamiento turbulento lo que reduce las posibilidades de obstrucción por elementos extraños.

Los diversos sobres se enrollan sobre el tubo perforado y dicho enrollamiento se protege con la capa externa del módulo que está formada por una mezcla de

poliéster más fibra de vidrio para garantizar la estanqueidad. El cilindro resultante tiene dimensiones de 1 m de longitud y 8 pulgadas de diámetro. Existen también membranas de 4 y de 16 pulgadas. Las primeras se utilizan sólo en plantas de producción excepcionalmente pequeña. Las de 16 pulgadas, desarrolladas aproximadamente hace una década no han tenido mucha implantación.

Los módulos de membranas se instalan en serie en el interior de cilindros llamados tubos de presión. Cada tubo de presión está diseñado con capacidad suficiente para albergar 7 u 8 elementos y garantizar la estanqueidad del conjunto. Cada tubo de presión por tanto tiene una longitud de aproximadamente 7-8 m.

El enrollamiento permite introducir una gran superficie de membrana en un espacio reducido. [42]

2.7.3.1.2. Módulos de fibra hueca utilizados en pretratamientos de micro y ultrafiltración.

En las plantas de desalación, los tubos de fibra hueca sólo se utilizan en los pretratamientos de micro o ultrafiltración. Estos módulos están formados por una gran cantidad de membranas de muy pequeño tamaño, dispuestas en su interior de tal forma que una de ellas trabaja en forma independiente de las demás. Están constituidas por un haz de millones de tubos capilares de un material plástico de alta resistencia para evitar la corrosión del tamaño de un cabello humano, y huecos interiores.

Las fibras se colocan paralelas alrededor de un tubo central, doblándose en uno de los extremos y retornando al otro. En ambos extremos del tubo las fibras quedan incrustadas en uno de los discos de la resina epoxi, para darles rigidez.

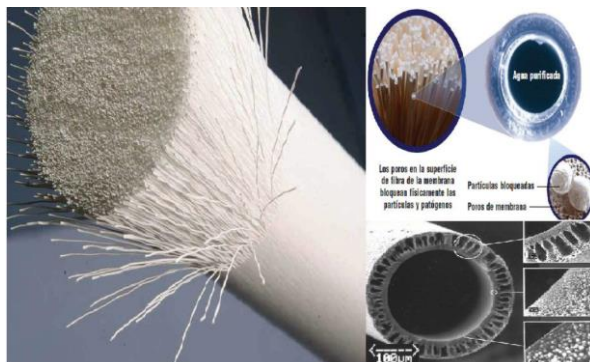


Figura 35. Esquema representativo de membranas de fibra hueca.

El agua a tratar llegar al módulo por un distribuidor central pasando a la zona del paquete de membranas. En la figura 36, el agua de alimentación pasa a través del interior de ellas hasta llegar al disco soporte que actúa como recolector de permeado. El agua de rechazo saldrá por la parte opuesta al tubo de entrada, siendo recogida mediante un colector para su evacuación. Sin embargo dependiendo del fabricante, en otros módulos la alimentación circula por el exterior de la fibra y en su interior se recoge el permeado.

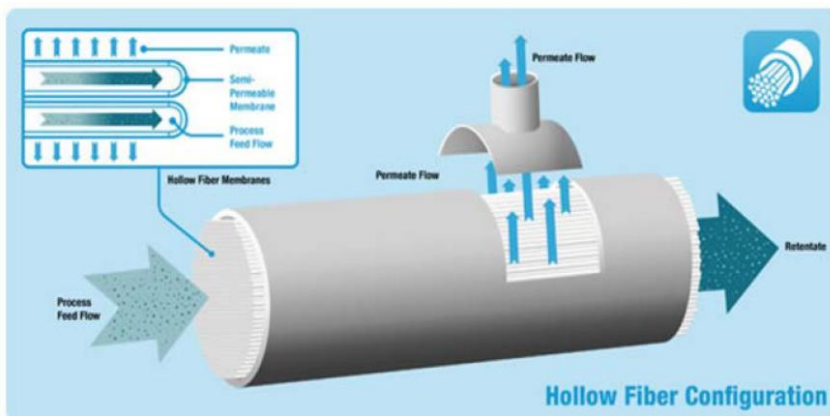


Figura 36. Configuración de membranas de fibra hueca

Las membranas que se fabrican en la actualidad están normalizadas, con objeto no sólo de poder ser comparadas entre sí entorno a unas condiciones tipo, sino

también y en el caso de las membranas de arrollamiento en espiral, poder sustituir unas por otras.

Esta normalización se basa fundamentalmente en el diámetro exterior de la membrana que es de 4" u 8".

Las membranas de fibra hueca, por su mayor capacidad unitaria, se consideran módulos individuales y sus diámetros comerciales son variables y específicos de cada fabricante, lo que impide con carácter general la sustitución de unas membranas por otras de distintos fabricantes. [42]

2.7.3.2. Colocación de las membranas.

En el caso de membranas de arrollamiento en espiral, cada unidad formada por un conjunto de láminas va recubierta exteriormente de una película de poliéster reforzado con fibra de vidrio y alojadas en un tubo de presión, generalmente también de este material, con capacidad para alojar 7 u 8 elementos, aunque también se construyen para aplicaciones específicas, de 2, 3 o 4 membranas.

Las membranas en el interior del tubo de presión se conectan unas con otras, para que formen un conjunto estanco y resistente a los movimientos longitudinales y transversales, mediante los correspondientes interconectores, también de material plástico y alta resistencia. De esta forma se evitan fugas de salmuera que contaminarían el producto y deformaciones como consecuencia de los sucesivos golpes de ariete que se producen cada vez que arranca la instalación.

Los tubos de presión están cerrados por ambos extremos con sendas lapas que disponen de orificios para la conexión de las tuberías de alimentación, producto y rechazo.

Todos estos tubos se colocan en paralelo en una estructura que los soporta, con todas las conexiones necesarias entre ellos, así como los colectores de alimentación, producto y rechazo del conjunto.

Esta estructura con el conjunto de tubos y colectores, que forman la unidad de producción típica de cada instalación, y que se alimentan desde una bomba, constituye el bastidor de ósmosis inversa. Generalmente cada bastidor tiene su bomba de alta presión y sus dispositivos de recuperación energética formando lo que se llama un tren o una línea. Una planta está constituida por varios trenes operando en paralelo.



Figura 37. Bastidores de Osmosis Inversa.

El diseño óptimo para usar membranas de última generación consiste en usar membranas diferentes en el mismo módulo.

Hybrid RO membrane Interstage Desing (HID) es el nombre adoptado para esta técnica, denominada por Dow Water Solutions, Internally Staged Design (ISD). Este método puede ahorrar de un 5 a un 8% de costes de capital en plantas convencionales. [43]

2.7.3.3. Ensuciamiento de las membranas.

El agua de mar posee en su composición química una serie de componentes orgánicos e inorgánicos que deben de ser controlados mediante unos tramamientos físicos y químicos (pretratamiento) antes de poder acceder a las membranas de osmosis inversa, ya que estas membranas son unos elementos altamente sensibles a ciertos compuestos. [44]

Mediante esos tratamientos previos se pretende la prevención de incrustaciones, ensuciamiento y el ataque químico sobre las membranas.

- **Incrustaciones:** Las incrustaciones se pueden producir como efecto de la precipitación de las sales disueltas en el agua de alimentación. Para evitarlo se debe tener especial cuidado en no sobrepasar los límites de solubilidad de las sales. Este hecho repercute directamente en la conversión de la planta ya que, a medida que se aumenta la conversión, se aumenta la concentración de sales en las membranas, aumentando así el riesgo de precipitación formando

incrustaciones. Si esto se produce, se empezarían a notar los efectos producidos al observar un incremento en la presión de operación, debido a la gran resistencia al paso de agua producto a través de las membranas generado por las incrustaciones.

- **Ensuciamiento:** El ensuciamiento de las membranas se produce cuando quedan atrapadas ciertas sustancias en el interior. El ensuciamiento puede ser de tres tipos:
 - 1) Coloidal: Producido por la deposición sobre la superficie de la membrana de partículas de gran tamaño y de partículas coloidales que floculan, obstruyendo los canales hidráulicos de las mismas.
 - 2) Biológico: Puede producirse bien porque la solución de aporte contenga suficientes elementos nutritivos como para favorecer el rápido desarrollo de microorganismos dentro de las membranas. Otra posible causa es que se haya eliminado la cloración del agua de alimentación.
 - 3) Orgánico: Se produce por la adsorción de componentes orgánicos solubles sobre la superficie de la membrana. Se controla con una selección de los productos químicos a aditivar, el tipo de membrana y realizando limpiezas químicas de las membranas.

2.7.3.4. Métodos de limpieza de membrana.

Existen varios métodos diferentes de limpieza de membranes, tales como lavado por chorro delantero, lavado por chorro trasero y lavado por chorro de aire.

Cuando se aplica un chorro de agua delantero, las membranas son lavadas desde adelante con el agua entrante o con el permeado. El agua entrante o el permeado fluyen a través del sistema más rápidamente que durante la fase de producción. Debido a la mayor rapidez de flujo y a la turbulencia resultante, las partículas que habían sido absorbidas por la membrana son liberadas y descargadas. Las partículas que habían sido absorbidas por los poros de la membrana no son liberadas. Estas partículas solo pueden ser eliminadas por medio del lavado con chorro de agua trasero.

El lavado con chorro de agua trasero es un proceso de filtración inversa. Se hace fluir el permeado a presión a través de la parte por donde entra el agua, aplicando el doble de flujo que se usa durante la filtración. En caso de que el flujo no se haya

reestablecido suficientemente después del lavado con chorro de agua trasero, se puede aplicar un proceso de limpieza química.

Durante el proceso de limpieza química, las membranas son empapadas con una solución de lejía clorada, ácido hipoclorítico o peróxido de hidrógeno. Primeramente, la solución se empapa en las membranas durante unos minutos y después se aplica un chorro de agua delantero o trasero que enjuaga los contaminantes.

Un método de limpieza más innovador es el llamado lavado por chorro de aire o por chorro de aire y agua. Este es un lavado por chorro delantero durante el cual se inyecta aire en el tubo de abastecimiento. Debido a la inyección del aire (permaneciendo igual la velocidad del agua), se crea un sistema de limpieza mucho más turbulento. [44]

2.7.4. Tubo de presión.

El agua de alimentación pasa a través de los elementos de membrana en serie, y el concentrado de un elemento es la alimentación del siguiente, de modo que la salmuera en el tubo de presión es el concentrado del último elemento. Normalmente el permeado de los elementos sucesivos es mezclado y recogido sólo por un extremo del tubo de presión. Sin embargo, el permeado puede ser recogido de ambos extremos (división parcial) a fin de obtener dos productos de calidad diferentes. El permeado resultante de mezclar el producto de los últimos elementos tiene menor calidad que los elementos situados al principio. Hoy día, el tubo de presión consiste en 7-8 elementos con un diámetro de 8". Según el objetivo de la recuperación y el rechazo de boro a cumplir, se puede recomendar un número diferente de elementos en serie. [45]

2.7.5. Tren SWRO.

La capacidad de producción de cada tren RO suele estar relacionada con la capacidad total de la planta y el tipo de elemento recuperador de energía instalado. Era común diseñar bastidores de RO de 2.500 m³/día o 5.000 m³/día, debido a que los equipos de recuperación de energía utilizados eran de tipo centrífugo. Actualmente los trenes más comunes de RO son de 7.500 m³/día, e

incluso en plantas de alta capacidad por encima de 10.000 m³/día gracias a la modularidad de los intercambiadores de presión basados en cámaras isobáricas. [45]

2.7.6. El segundo paso (si lo hubiera) para desalinizar el permeado del primer paso

Principalmente debido al cumplimiento de los límites de calidad del permeado, el flujo de permeado del tren SWRO puede requerir segundo proceso de desalación en un bastidor de membranas de ósmosis inversa agua salobre, BWRO. Esta solución se ha adoptado normalmente en España, principalmente para cumplir con las regulaciones, las cuales son muy estrictas con respecto a los límites de concentración de boro. El segundo paso normalmente opera a pH alto ya que el ácido bórico apenas se hidrata en operación a pH neutro, lo que resulta en una disminución del rechazo de Boro que es capaz proporcionar la membrana. Es atribuible al hecho de que el tamaño de los poros de la membrana de RO es mayor que el del ácido bórico no hidratado.

Hoy en día, la recomendación sobre la concentración de boro en el agua potable de la guía de la OMS es de 2,4 mg / L. Dependiendo de las regulaciones específicas de la ubicación de la planta, así como de la calidad del agua de mar y el diseño de la primera pasada, el segundo paso podría ser actualmente inútil considerando solo la calidad del producto.

Dado que el permeado sale del primer paso a baja presión, debe presurizarse si se trata más con un proceso BWRO. Normalmente, el concentrado de segundo paso se mezcla con agua de mar pretratada en la succión de la bomba de alta presión. Ver [Figura 8](#). [45]

2.7.7. La segunda etapa (si la hubiera) para desalar el concentrado.

La presión del concentrado en los procesos SWRO y BWRO es similar a la presión de alimentación respectiva, ya que la diferencia de presión solo es atribuible a las pérdidas de presión. Entonces, el requisito de una bomba interetapa (bomba de refuerzo) en el tratamiento de concentrado mediante un proceso de RO depende de los parámetros operativos y de diseño. El interés en tratar el concentrado del

segundo paso (BWRO) con un segundo proceso BWRO se basa principalmente en incrementar la recuperación global del proceso de desalación. Además de eso, solo en casos muy específicos, podría ser razonable el tratamiento del concentrado de primer paso (salmuera) después de presurizado con una bomba de refuerzo. Ver [Figura 8](#). [45]

2.8. Coste del agua producida en una planta desaladora.

El agua de mar y el agua salobre son las fuentes de agua de alimentación más utilizadas para la desalación ya que están disponibles en fígran catidad en mares, océanos y grandes lagos interiores. La mayoría de las plantas desaladoras utilizan agua de mar porque al ser una fuente de gran cantidad podemos alcanzar los requisitos requeridos a gran escala. El agua de alimentación utilizada en una planta desaladora también depende del recurso hídrico disponible en una región o país en particular.

El agua de mar requiere niveles de energía más altos para el rechazo de la sal debido a su concentración de sal relativamente alta. Por lo tanto, la desalación de agua de mar es más costosa, en relación con la desalación de agua salobre. Debe tenerse en cuenta que las tecnologías que implican cambio de fase (MED y MSF) sólo se utilizan en desalación de agua de mar, que la ED sólo se utiliza en agua salobre, mientras que en ósmosis inversa existen plantas SWRO y plantas de tratamiento de aguas salobres de pozos salinos, aguas de río y aguas residuales. Por otra parte, cabe destacar que el precio o el coste del agua producto de las plantas SWRO está afectado por las normativas de boro. Si son muy restrictivas exigen la instalación de un segundo paso, normalmente compuesto por dos etapas. También son parámetros de gran influencia en el consumo energético la salinidad y la temperatura. Otro aspecto importante es la normativa aplicable a la descarga o tratamiento del rechazo, que podrá depender de si se trata de una planta de desalación de agua de mar, de agua salobre de pozo, de agua de río o de aguas residuales.

Las tendencias en el costo de producción de agua dulce utilizando agua de mar y desalación de agua salobre, de 1990 a 2019, según se describe en la citada referencia [46], se muestran en la Fig. 38

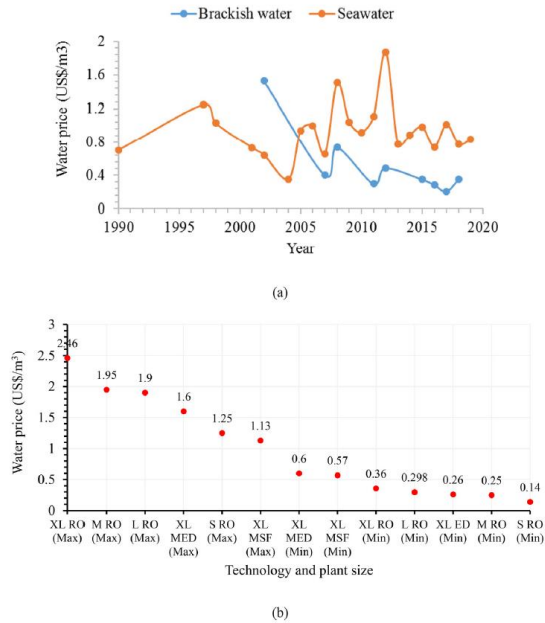


Figura 38. El precio del agua desalada, como lo muestran (a) las tendencias en los costos promedio de desalación de agua de mar y agua salobre y (b) el coste de desalación de agua, según la tecnología y el tamaño de la planta.

Se calculó el promedio de todos los valores de costo reportados para diferentes proyectos en cada año. El coste promedio de la desalación de agua de mar, a partir de los valores de coste reportados por algunas plantas, ha estado fluctuando. Los precios medios máximos y mínimos de 1,87 y 0,35 \$ / m³ se registraron en 2012 y 2004, respectivamente, para la desalación de agua de mar. Estos precios pueden haber dependido del rango de salinidad del agua de mar que se alimentaba entonces a la mayoría de las plantas existentes. El coste promedio de producción de agua desalada a partir de agua salobre disminuyó de 1,53 a 0,4 \$ / m³ en el período 2002 a 2007. Luego, el coste promedio continuó aumentando y disminuyendo hasta alcanzar 0,35 \$ / m³ en 2018. En la actualidad, el rango de precios medio del agua desalada se sitúa entre 0,5 \$ y 1,5 \$/m³. En el extremo inferior de dicho rango se sitúan las regiones en las que los costes de la electricidad

son bajos (por ejemplo, Oriente Medio) y en el extremo superior las regiones en las que los costes de la electricidad son altos (por ejemplo, Australia, donde a veces se exige que la electricidad proceda de energías renovables).

Entre 1990 y la fecha, los precios mínimos del agua a nivel mundial se informan para las plantas de RO, en comparación con las plantas MSF y MED (Fig. 39 (b)). Se debe a que se incluye la desalación de agua salobre. Los precios mínimos globales para la desalación de RO en escala S, M, L y XL son todos más bajos que los precios mínimos globales para la desalación MSF y MED de escala XL. A partir del análisis de datos, los precios mínimos globales para la desalación de RO en escala S, M, L y XL son 0,36, 0,298, 0,25 y 0,14 \$ / m³, respectivamente, mientras que los precios mínimos globales para MSF en escala XL y la desalación MED es de 0,57 y 0,6 \$ / m³, respectivamente. Los precios del agua informados por las plantas desaladoras de menor escala de MSF y MED no están incluidos en los datos y, como tales, no pueden analizarse.

Curiosamente, los precios máximos del agua a nivel mundial también se informan para las plantas de ósmosis inversa, lo que indica que la desalación del agua de ósmosis inversa tiene un rango de precios más amplio, en comparación con MSF y MED. El precio máximo mundial de desalación de agua de 2,46 \$ / m³ se informó para una tecnología SWRO de escala XL empleada en la planta de Tugun (Gold Coast) en Australia, mientras que el precio mínimo mundial de desalación de agua de 0,14 \$ / m³ se informó para una escala S Tecnología RO ubicada en Rumania. Los precios máximos mundiales del agua publicados para las tecnologías MSF y MED en la escala XL son 1,13 y 1,3 \$ / m³, respectivamente, como se muestra en la Fig. 39 (b). Estos valores son más bajos que los valores máximos globales reportados para la desalación de RO en escala XL, L y M como 2,46, 1,9 y 1,95 \$ / m³, respectivamente. También se ha informado de un precio mínimo global del agua más bajo de 0,26 \$ / m³ para la desalación ED de escala XL (empleada en la planta ED de agua salobre de Abrera de 200.000 m³/d en España), en comparación con sus homólogos de RO.

Sin embargo, este análisis no es exhaustivo, ya que los datos del precio del agua sólo estaban disponibles para 107 plantas. Además, hay algunos valores atípicos en los datos. Se informa un precio de desalación de agua muy bajo de 0,21 \$/m³ para una planta XL RO (228.000 m³/d fábrica de Changi NEWater) en Singapur. Este bajo precio se consigue porque la alimentación a la planta son aguas residuales. Además, se informa un precio muy alto de 5,17 \$/m³ para una planta

XL RO (planta de desalación de agua de mar de 444.000 m³/d) en Australia debido al alto coste de capital. Por lo tanto, además de la tecnología empleada, el coste de la desalación del agua depende de otros factores como el coste de la infraestructura y las necesidades de capital, la ubicación de la planta, la calidad del agua de alimentación y del agua producido, la fuente y el precio de la energía, la naturaleza de la toma y del emisario, los requisitos para la regulación, entre otros. [46]

3. DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA LANZAROTE IV

Canarias es un referente mundial en desalación de agua de mar desde hace más de cuarenta años, no solo por su alta densidad de plantas desaladoras, sino también por el uso de todo el abanico de tecnologías industriales. En el caso de la isla de Lanzarote, la más al este del Archipiélago Canario, los recursos hídricos disponibles provienen mayoritariamente de la desalación del agua de mar debido a que la explotación de los recursos naturales tanto superficiales como subterráneos es muy limitada debido al escaso régimen de precipitaciones que presenta la isla y su estructura hidrogeológica.[47]

La obtención de agua potable en Lanzarote se caracteriza principalmente por una importante dependencia energética del exterior. El hecho de que en Lanzarote el consumo energético asociado al ciclo del agua represente más del 20% del consumo total de energía eléctrica de la isla y la reducida capacidad de almacenamiento de agua potable indica el estado de inestabilidad permanente del sistema y la necesidad estratégica de afrontarlo. La demanda de agua desalada en la isla creció más de un 6% entre 2006 y 2008 [48], lo que obliga a los gestores del agua a adaptar el suministro en cualquier momento o, en su defecto, a forzar las plantas desaladoras existentes para obtener el agua necesaria.

La isla de Lanzarote ha experimentado una clara evolución positiva en cuanto a la reducción del Consumo Específico de Energía (SEC) relacionado con los procesos de desalación. De 8,33 kWh/m³ en 1976 se ha reducido hasta 4,89 kWh/m³ tres décadas después. Sin embargo, la dependencia energética del ciclo del agua en la isla es relevante y las plantas desaladoras están trabajando al máximo de su capacidad de diseño. En este escenario, cualquier medida correctiva que se ofrezca será bienvenida si obtiene más recursos con el menor costo de energía posible.

Insular de Aguas de Lanzarote S.A. (INALSA) es la empresa gestora responsable de la producción y suministro de agua potable para consumo en toda la isla de

Lanzarote. Gestiona dos centros de producción con una capacidad instalada de desalación por ósmosis inversa (RO) de más de 66.000 m³/día. Una de ellas es la planta Lanzarote IV que fue encargada en el año 2000 y tiene instalada una capacidad de 33.000 m³/día distribuidos en 5 trenes de RO. La planta de SWRO de Lanzarote IV cuenta con Wells o pozos de playa de 11 m de profundidad. El agua de alimentación a 39,152 mg /L a 20 ° C se bombea hacia el pretratamiento por 5 bombas verticales con una potencia nominal de 132 kW a 400 V. La caracterización del agua cruda se muestra en la Tabla 8. [49].

Lanzarote IV SWRO plant seawater - beach well water (SDI <3)			
TDS			39,152 mg/l
pH			7.81
Temperature			20 °C
SiO ₂			5.60 mg/l
B _T			4.7 mg/l
SDI			0.40
Cations (mg/l)		Anions (mg/l)	
NH ₄ ⁺	0.3	CO ₃ ²⁻	<5.0
K ⁺	432.0	HCO ₃ ⁻	164.7
Na ⁺	11.328.0	NO ₃ ⁻	4.2
Mg ²⁺	1274.0	Cl ⁻	20.590.0
Ca ²⁺	542.0	F ⁻	0.8
Sr ²⁺	5.9	SO ₄ ²⁻	4387.7

^a Data source: Inalsa Company Technical Department - Personal communication, Mr P. A. Martín and J.M. Bethencourt, November 2009.

Tabla 8. Composición del agua de mar en la planta Lanzarote IV. Fuente: Inalsa Company Technical Department.

El pretratamiento físico consiste en una filtración de seguridad utilizando únicamente filtros de cartucho de selectividad de 5 micrones. Aunque existente, la excelente calidad del agua cruda (índice de densidad de sedimentos - SDI≈0.40), hace innecesaria la etapa anterior de filtración formada por medio de 5 filtros horizontales.

Antes de la microfiltración, se realiza un pretratamiento químico con una dosificación antiincrustante para evitar daños por incrustaciones en las membranas de OI.

La desaladora de Lanzarote IV consta de trenes de 7 elementos 5×6000 m³/día, cada uno con un dispositivo de turbina Pelton de Recuperación de Energía (ERT) con una tasa de recuperación del 42%. Cuatro de los trenes tienen una

configuración en dos pasos RO. El segundo paso se divide en dos etapas de agua salobre. Las siguientes tablas resumen la configuración actual de PV de los trenes y la información relacionada (Tablas 9-12). Los cuatro trenes o líneas de dos pasos son alimentados por turbobombas como sistema de recuperación de energía (Figs. 40 y 41) con una potencia nominal de 900 kW a 6 kV. El 5º RO con 1º paso es alimentado por una turbobomba con una potencia nominal de 950 kW a 6 kV.



Figura 39. Trenes RO de la planta Lanzarote IV. Fuente: Science Direct, Desalination.



Figura 40. Bombas de alta presión y turbinas Pelton de la planta Lanzarote IV.

Fuente: Inalsa



Figura 41. Detalle rueda turbina Pelton de la planta Lanzarote IV. Fuente: Inalsa

Description per train	4 trains (1st pass + 2nd pass (two stages))	1 train (1 pass)
Seawater feed	580 m ³ /h	595 m ³ /h
Permeate stream (1st pass)	262 m ³ /h	250 m ³ /h
Permeate stream (2nd pass)	240 m ³ /h	n/a
Brine water stream/turbine inlet	345 m ³ /h	345 m ³ /h
Average recovery rate (1st pass/ 2nd pass)	42% / 90%	42%

Tabla 9. Características nominales de los trenes de la planta SWRO. Fuente: Inalsa Company Technical Department.

Description per train		Train 1	Train 2	Train 3	Train 4
1st pass	No. PVs	89	85	89	83
	No. elements	623	595	623	581
	Type installed	SW30-380	SW30-380	SW30-380	SW30-380
2nd pass	No. PVs 1st stage	30	25	24	30
	No. PVs 2nd stage	11	12	14	11
	No. elements	287	259	266	287
	Type installed	BW30 LE440	XLE 440 (1st stage) BW30 LE440 (2nd stage)	XLE 440 (1st stage) BW30 LE440 (2nd stage)	BW30 LE440

Tabla 10. Configuración de los tubos de presión de los trenes con dos pasos. Fuente: Inalsa Company Technical Department

Description per train	Train 5
No. pressure vessels 1st pass	80
No. elements 1st pass	560
Element type installed	SW30HR-380

Tabla 11. Configuración de los tubos de presión de los trenes con un único paso. Fuente: Inalsa Company Technical Department

Description	Pipe diameters (material)
Seawater intake	600 mm (PRFV)
High pressure pump (HPP) inlet	350 mm
RO train feed (1st pass)	10" (904 L)
Brine water stream/turbine inlet	8" (904 L)
1st pass-2nd pass	400 mm (PRFV)
RO train feed (2nd pass)	200 mm (PRFV)

Tabla 12. Dimensión y material de los tubos de presión de los trenes SWRO.

La planta tiene un sistema de limpieza química, el cual es el mismo para los cinco trenes, está formado por 3 bombas de limpieza (200 kW, 400 V), un tanque de limpieza y un filtro de cartucho.

Finalmente, la planta tiene dos subestaciones de transformación de media tensión (MVTs), una con un transformador de 7500 KVAs con una relación de transformación 20/6 kV y otro de 1600 KVAs con una relación de 6/0.4 kV. La potencia total instalada en la planta Lanzarote IV es de 5000 kW. [50]

La Figura 42 y las Tablas 13-16 resumen los principales datos de operación de la planta.

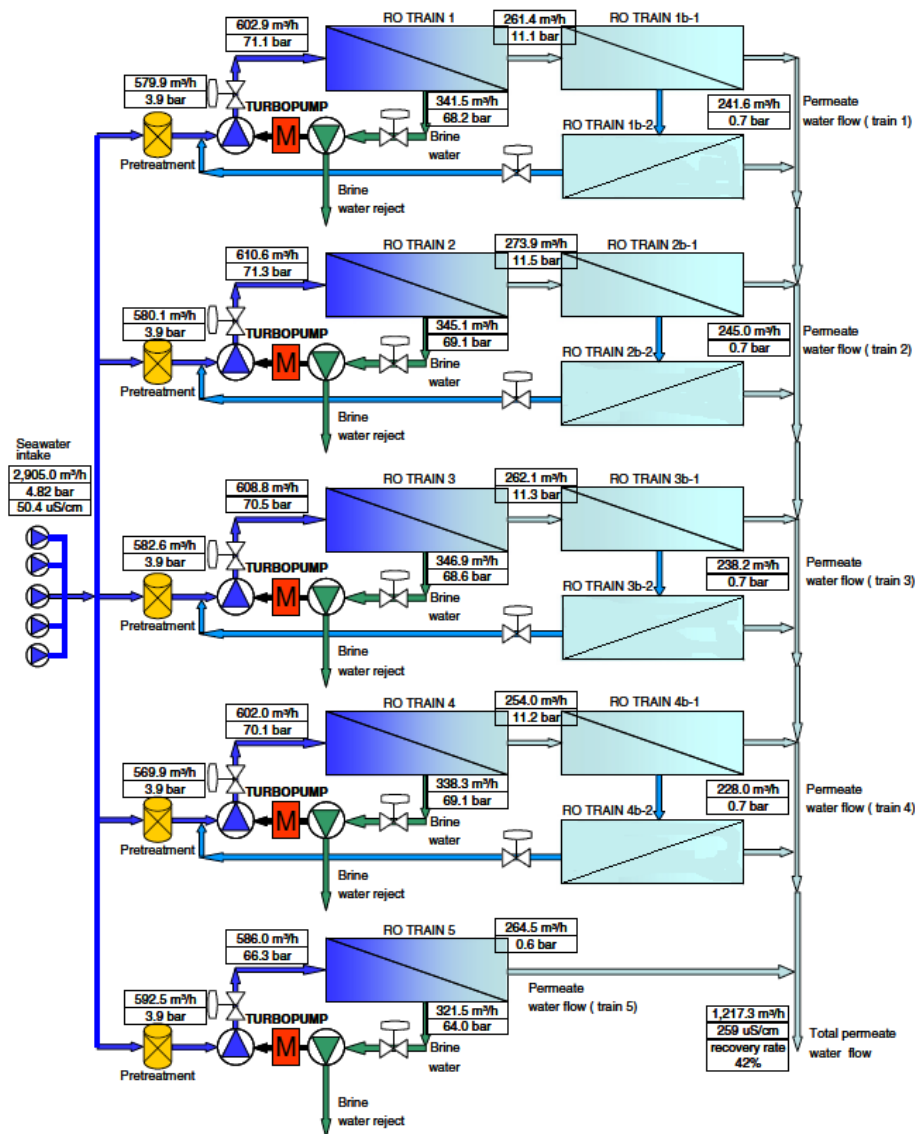


Figura 42. Esquema de la planta Lanzarote IV y datos principales de operación.

Fuente: Science Direct, Desalination

Description	Train 1		Train 2		Train 3		Train 4	
	Flow (m ³ /h)	Pressure (bar)	Flow (m ³ /h)	Pressure (bar)	Flow (m ³ /h)	Pressure (bar)	Flow (m ³ /h)	Pressure (bar)
Seawater feed (HPP inlet)	579.9	3.9	580.1	3.9	582.6	3.9	569.9	3.9
Seawater feed (train inlet)	602.9	71.1	610.6	71.3	608.8	70.5	602.0	70.1
Brine water stream/turbine inlet	341.5	68.2	345.1	69.1	346.9	68.6	338.3	69.1
Permeate stream (1st pass)	261.4	11.1	273.9	11.5	262.1	11.3	254.0	11.2
Permeate stream (2nd pass)	241.6	0.7	245.0	0.7	238.2	0.7	228.0	0.7

Tabla 13. Datos de operación de caudal y presión de los trenes con dos pasos.

Fuente: Inalsa Company Technical Department – Personal communication

Description	Train 5	
	Flow (m ³ /h)	Pressure (bar)
Seawater feed (HPP inlet)	586.0	3.9
Seawater feed (train inlet)	586.0	66.3
Brine water stream/turbine inlet	321.5	64.0
Permeate stream	264.5	0.6

Tabla 14. Datos de operación de caudal y presión para el quinto tren de solo un paso. Fuente: Inalsa Comany Technical Department - Personal communication

Description	Train 1	Train 2	Train 3	Train 4	Train 5
1st pass (%)	43.4	42.9	43.0	42.5	45.0
2nd pass (%)	92.4	91.2	90.9	89.5	n/a

Tabla 15. Ratio de recuperación por tren de RO. Fuente: Inalsa Company Technical Department – Personal communication

Description	Data
Average permeate water quality (1st pass – 1–4 trains)	1717 $\mu\text{S}/\text{cm}$
Average permeate water quality (2nd pass)	63.5 $\mu\text{S}/\text{cm}$
Average permeate water quality (train 5)	965 $\mu\text{S}/\text{cm}$
Average permeate water quality	259.3 $\mu\text{S}/\text{cm}$
Average permeate	28,320 m^3/d
Total power consumption intake pumps	1013 kWh
Total power consumption HPPs	4044 kWh
Specific energy consumption (RO)	343 kWh/ m^3
Specific energy consumption (intake + RO)	428 kWh/ m^3

Tabla 16. Otros datos de operación de interés de la planta. Fuente: Inalsa Company Technical Department - Personal communication

4. SIMULACIÓN CONFIGURACIÓN INICIAL DE LANZAROTE IV

4.1. Fabricantes de membranas y softwares de simulación

Como se revisó anteriormente existen varios tipos de membranas para diversas aplicaciones, las cuales son clasificadas en base a sus materiales, composición, y características funcionales por sus distintos fabricantes. A continuación, se presenta una recopilación de los principales fabricantes de RO industriales presentes en el mercado. [51]

PRODUCTORES	MARCA	UBICACIÓN
Applied Membranes	AMI	Estados Unidos
Axeon		Estados Unidos
Big Brand Water Filter Inc		Estados Unidos
DDS		Dinamarca
Dow Water & Process Solutions	FilmTec™	Estados Unidos
Du Pont	Permasep Products	Estados Unidos
GE's Water & Process Tech. (SUEZ)	Desal, Osmonics	Estados Unidos
Hydranautics		Estados Unidos/Japón
Inge Watertechnologies AG		Alemania
Koch Membrane Systems	Koch, Fluid System	Estados Unidos
Lanxess AG	LewaBrane®	Alemania
LG NanoH ₂ O	© 2017 LG Chem	Corea / Estados Unidos
Mann-Hummel Fluid		Brasil
Membranium		Rusia
Microdyn Nadir	NADIR®	Alemania

Millipore Membranes		Estados Unidos
Nanostone Water		Estados Unidos / Alemania
Osmosis Technology	Osmotik	Estados Unidos
Parker membranas		Estados Unidos
Pentair RO membranas	X-Flow	Estados Unidos
Pentair X-Flow		Países Bajos
Ropur membranas	© 2021 TORAY MEMBRANE EUROPE AG	Suiza
Sumitomo Chemical Co	POREFLON™	Japón
TCK Membrane America (Toray)	CSM®	Corea / Estados Unidos
Toray Company	ROMEMBRA®	Estados Unidos / Japon
Toyobo	HOLLOSEP®	Japón
TriSep Corporation (Microdyn)		Estados Unidos
US Filter/Memtec		Estados Unidos
Ultura	SEPRO	Estados Unidos

Tabla 17. Principales fabricantes de membranas de RO industriales.

Muchos fabricantes de membranas crean sus propias marcas registradas, las cuales en muchos casos han sido traspasadas o heredadas a otras compañías por cambios organizacionales o adquisiciones sobre los derechos de éstas. Este es el caso por ejemplo de TCK Membrane America, la cual fue adquirida en abril del 2016 por Toray Company, Toray continúa manteniendo la venta de membranas bajo la marca de CSM®. También está el caso de GE's Water & Process Technologies (Desal y Osmonics), la cual fue adquirida por SUEZ en septiembre del 2017. Otro gran cambio a nivel organizacional es el de TriSep, compañía que fue adquirida en noviembre del 2016 por Microdyn Nadir. Cabe destacar que muchas veces, independiente del modelo o la marca, las membranas cumplen con las mismas características, tanto en sus métodos como en los materiales de construcción, aunque esto resulta ser más difícil de averiguar debido a la limitada información que el fabricante facilita de sus membranas. De todos los fabricantes

expuestos en la tabla 17, sólo 10 de ellos disponen de softwares de simulación propios y extendidos para el público en general, para el diseño y evaluación de sistemas de osmosis inversa utilizando sus membranas específicas. En la tabla 18 se presentan los distintos programas de diseño dispuesto por cada fabricante de RO. [52]

FABRICANTE	SOFTWARE
Hydranautics	IMSDesign (Integrated Membrane Solution TM)
Dow Water Solutions - FilmTec	WAVE (Water Application Value Engine)
Toray Membrane	TorayDS2 (Toray Design System)
TCK Membrane America (Toray)	CSMPro (Customer Satisfaction Membrane)
GE's Water & Process Tech. (SUEZ)	Winflows
Koch Membrane System*	KMS ROPRO®
TriSep Corporation (Microdyn Nadir)	TROI
Microdyn Nadir	ROAM
Lanxess Energizing Chemistry	LewaPlus®
LG Chem Nanocomposite	NanoH ₂ O

(*) El software de Koch dejó de estar disponible para el público en general vía descarga directa

Tabla 18. Programas de diseño de los distintos fabricantes de membranas RO.

En general, la selección del software a utilizar depende totalmente del diseñador, siendo en la mayoría de los casos recomendable ejecutar varios programas y comparar las diferencias entre ellos para seleccionar que tipo de sistema cumple con los requisitos de la aplicación de interés. Aunque cada programa es único en base a las membranas de su fabricante en particular, existen varias similitudes en su forma de trabajo. Cada paquete de software, aunque difieren en su presentación, ofrecen los mismos resultados: diseño de la unidad de RO, incluyendo matriz de arreglo, presión de funcionamiento, índices de incrustación, y cualidades del agua producida y concentrada. Los softwares en general dan aviso cuando se sobrepasen los parámetros de funcionamiento básicos del sistema, tales como altos niveles de recuperación o bajo flujos de concentrado en

base al sistema y membranas evaluadas. A continuación, se presenta una breve descripción del software LG - NanoH₂O junto al detalle de sus parámetros de entrada, alcance y algunas otras consideraciones relevantes a tener en cuenta para su uso de acuerdo a la simulación realizada de la planta Lanzarote IV.

4.2. LG - NanoH₂O.

El software NanoH₂O se encuentra diseñado exclusivamente para la evaluación de sistemas de RO. La interface del sistema y la simplicidad de acceso, facilitan la operación y el manejo del programa. En las figuras 44 y 45, se presentan las visualizaciones del programa para los valores de entrada al sistema tanto para las características del agua a tratar como para los parámetros de diseño base. Las características del agua de alimentación son ingresadas en la sección “Agua de alimentación”. Es posible establecer múltiples fuentes de alimentación, estableciendo para cada fuente valores de pH, temperatura y concentraciones específicas de iones. Una vez ingresado los valores de los componentes del agua, es posible realizar un ajuste para el equilibrio de carga de la alimentación, el cual es realizado ajustando cationes, aniones e iones en específicos.

The screenshot shows the 'Feed Water' window of the NanoH₂O software. At the top, 'Water Source' is set to 'Seawater-Well (SDI<3)' and 'Water Type' is 'Seawater, 32000 ppm'. Below this is a table of ion concentrations:

Ion	ppm	Balanced ppm
Ammonium(NH4)	0.00	0.00
Sodium(Na)	9,563.72	9,563.25
Potassium(K)	502.42	502.40
Magnesium(Mg)	1,188.78	1,188.72
Calcium(Ca)	430.42	430.40
Strontium(Sr)	7.36	7.36
Barium(Ba)	0.01	0.01
Fluoride(F)	1.29	1.29
Chloride(Cl)	17,078.02	17,078.86
Sulfate(SO4)	3,061.81	3,061.96
Nitrate(NO3)	0.00	0.00
Carbonate(CO3)	3.29	2.19
Bicarbonate(HCO3)	158.07	155.33
Boron(B)	4.78	4.78
Bromide(Br)	0.00	0.00
Silica(SiO2)	0.00	0.00

To the right of the table is the 'Feed Parameters' section:

- Temperature: 20 °C
- pH: 7.81
- Total Dissolved Solids: 31,999.33 ppm
- Total Osmotic Pressure: 22.13 bar
- Charge Balance: 0.00
- Buttons: Balance, Ion Selection
- Pass #1 and #2 settings:
 - Flow Loss: 5 %
 - Salt Passage Increase: 5 %
 - Safety Factor: 1
 - Years of Operation: 3
 - Fouling Factor: 0.86

At the bottom are 'OK' and 'Cancel' buttons.

Figura 43. Interface del software NanoH₂O – valores de entrada características del agua de alimentación.

La información mínima requerida a ingresar, además de la calidad del agua, se detalla a continuación (ver figura 45):

1. Permeate: flujo de permeado (de alimentación o concentrado).
2. Recovery: recuperación del sistema.
3. Pass: número de pasos, con un máximo de 3 pasos.
4. Stafge: número de etapas, con un máximo de 6 etapas por paso.
5. # of Vessels: número de tubos de presión por etapa.
6. Length: número de membranas por tubo de presión. El programa restringe este valor entre 1 a 8 elementos.
7. Elección de membrana. El software presenta los modelos disponibles por el sistema, junto a algunas especificaciones para cada elemento.

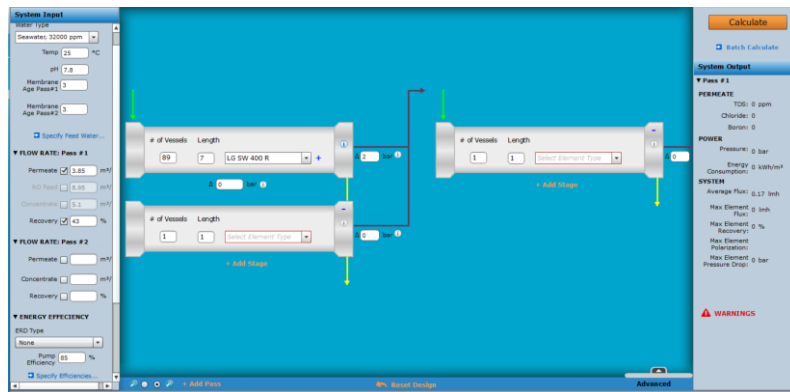


Figura 44. Interface del software NanoH2O – valores de entrada de los parámetros de diseño.

Otros factores que son posibles especificar o incluir en el programa son expuestos a continuación.

- Configuración de bypass y recirculación disponibles.
- Dispositivo de recuperación de energía.
- Presión de permeado.

- Sistema híbrido de membranas.
- Ajuste de pH y dosificación de reactivos

Una vez ingresados todos los parámetros a considerar, el software proyectará la calidad del agua producida y los flujos por etapa, junto alertas sobre resultados fuera de los límites recomendados para el sistema en general.

4.3. Simulación Lanzarote IV.

Abrimos el software e introducimos las unidades requeridas y las especificaciones del agua de alimentación o feed water reflejadas en la Tabla 8. Introducimos la temperatura (20 °C), el pH (7.81), balanceamos, añadimos 3 años de operación o vida útil de las membranas (un valor estándar) y nos aparece un fouling factor del 0.86, valor estándar para este tipo de procesos.

The screenshot shows the 'Feed Water' dialog box in the LG NanoH2O software. The 'Water Source' is set to 'Seawater Well (SDI < 3)' and the 'Water Type' is 'Lanzarote IV'. The 'Feed Parameters' section includes the following values:

- Temperature: 20 °C
- pH: 7.81
- Total Dissolved Solids: 38,430.33 ppm
- Total Osmotic Pressure: 26.37 bar
- Change Balance: 0.00
- Pans: #1 = 5, #2 = 5
- Flow Loss: 5 %
- Salt Passage Increase: 5 %
- Safety Factor: 1
- Years Of Operation: 3
- Fouling Factor: 0.86

The 'Ion' table shows the following data:

Ion	ppm	Balanced ppm
Ammonium(NH4)	0.30	0.31
Sodium(Na)	11,328.00	11,679.55
Potassium(K)	432.00	145.41
Magnesium(Mg)	1,274.00	1,313.54
Calcium(Ca)	542.00	558.82
Strontium(Sr)	5.90	6.08
Barium(Ba)	0.00	0.00
Fluoride(F)	0.80	0.78
Chloride(Cl)	20,590.00	19,988.36
Sulfate(SO4)	4,387.70	4,259.49
Nitrate(NO3)	4.20	4.08
Carbonate(CO3)	5.00	2.40
Bicarbonate(HCO3)	164.70	156.51
Boron(B)	4.70	4.66
Bromide(Br)	0.00	0.00
Silica(SiO2)	5.60	5.44

Figura 45. Especificaciones del feed water en LG NanoH₂O

Modelamos cada tren según la Figura 43 del esquema de la planta. Introducimos la información requerida: flujo de permeado, recovery, número de tubos de presión por paso, número de membranas, etc. para cada tren.

4.3.1. Elección del tipo de membranas

La planta dispone inicialmente del siguiente tipo de membranas para cada paso y etapa:

Descripción por tren	Tren 1	Tren 2	Tren 3	Tren 4	Tren 5
1 ^{er} paso	SW30-380	SW30-380	SW30-380	SW30-380	SW30HR-380
2 ^o paso	BW30 LE440	XLE 440 (1 ^o Etapa) BW30 LE440 (2 ^o Etapa)	XLE 440 (1 ^o Etapa) BW30 LE440 (2 ^o Etapa)	BW30 LE440	-

Tabla 19. Configuración inicial de membranas.

Este tipo de membranas no las podemos encontrar en el software elegido ya que el programa solo permite seleccionar las membranas del fabricante LG. Por lo que tenemos que buscar las membranas equivalentes del distribuidor LG que cumplan las especificaciones de área activa y flujo de permeado de las membranas iniciales. Para ello buscamos los datasheet de cada tipo de membrana y obtenemos los siguiente datos:

Membrana	Área activa (m ²)	Flujo de permeado (m ³ /d)
SW30-380	35	34
SW30HR-380	35	23
BW30LE-440	41	44
XLE- 440	41	48

Tabla 20. Especificaciones de las membranas iniciales.

Fuente: FILMTEC™ Membranes

En una primera aproximación elegimos las membranas de LG que más se aproximen a los datos de la tabla 20:

Producto	Tamaño		Área Activa de Membrana		Flujo de Permeado		Rechazo de Sales Estabilizado	Rechazo de Boro
	mm	inch	ft²	m²	gpd	m³/d	%	%
LG BW 400 R G2	200	7.9	400	37	9,000	34.1	99.68	90
LG BW 440 R G2	200	7.9	440	41	9,900	37.5	99.68	90
LG BW 400 SR G2	200	7.9	400	37	6,000	22.7	99.69	90
LG BW 440 SR G2	200	7.9	440	41	6,600	25.0	99.69	90
LG BW 400 GR G2	200	7.9	400	37	7,500	28.4	99.69	90
LG BW 440 GR G2	200	7.9	440	41	8,200	31.2	99.69	90
LG BW 400 SR	200	7.9	400	37	6,000	22.7	99.65	90
LG BW 440 SR	200	7.9	440	41	6,600	25.0	99.65	90
LG BW 400 GR	200	7.9	400	37	7,000	26.4	99.65	90
LG BW 440 GR	200	7.9	440	41	8,200	31.2	99.65	90
LG BW 400 R	200	7.9	400	37	9,000	34.1	99.65	90
LG BW 440 R	200	7.9	440	41	9,900	37.5	99.65	90
LG BW 400 ES	200	7.9	400	37	13,700	51.9	99.60	89
LG BW 440 ES	200	7.9	440	41	15,070	57.0	99.60	89
LG BW 4040 R	100	3.9	80	7.4	1,900	7.4	99.7	-

Tabla 21. Membranas de ósmosis inversa para agua de mar NanoH2O™ de LG Chem.

Producto	Tamaño		Área Activa de Membrana		Flujo de Permeado		Rechazo de Sales Estabilizado
	mm	inch	ft²	m²	gpd	m³/d	%
LG BW 400 ATR G2	200	7.9	400	37	11,000	41.9	99.7
LG BW 400 R G2	200	7.9	400	37	11,000	41.9	99.79
LG BW 440 R G2	200	7.9	440	41	12,800	47.9	99.79
LG BW 400 R Dura	200	7.9	400	37	10,900	39.7	99.7
LG BW 440 R Dura	200	7.9	440	41	11,800	43.7	99.7
LG BW 400 R	200	7.9	400	37	10,900	39.7	99.8
LG BW 440 R	200	7.9	440	41	11,800	43.7	99.8
LG BW 400 ATR	200	7.9	400	37	10,900	39.7	99.8
LG BW 400 ES	200	7.9	400	37	10,900	39.7	99.8
LG BW 440 ES	200	7.9	440	41	11,000	41.7	99.8
LG BW 400 JES	200	7.9	400	37	11,000	41.9	99.8
LG BW 440 JES	200	7.9	440	41	12,800	47.9	99.8
LG BW 4040 R	100	3.9	80	7.4	2,800	9.9	99.9
LG BW 4021 R	100	3.9	34	3.2	1,000	3.8	99.9
LG BW 2021 R	80	2.4	9	0.9	340	1.3	99.9
LG BW 4040 ES	100	3.9	80	7.4	2,800	9.9	99.9
LG BW 4021 ES	100	3.9	34	3.2	1,000	3.8	99.9
LG BW 2021 ES	80	2.4	9	0.9	340	1.3	99.9
LG BW 4040 JES	100	3.9	80	7.4	2,700	10.2	99.9
LG BW 4021 JES	100	3.9	34	3.2	1,000	3.8	99.9
LG BW 2040 JES	80	2.4	21	2.0	690	2.6	99.9
LG BW 2021 JES	80	2.4	9	0.9	340	1.3	99.9
LG DW 6040 SP	100	3.9	80.0	7.4	3,000	11.0	99.9

Tabla 22. Membranas de ósmosis inversa para aguas salobres NanoH2O™ de LG Chem

Las membranas equivalentes elegidas en una primera simulación se reflejan en la siguiente tabla:

Membrana	Area activa (m ²)	Flujo de permeado (m ³ /d)	Membrana	Area activa (m ²)	Flujo de permeado (m ³ /d)
SW30-380	35	34	LG SW-400 SR	37	22.7
SW30HR-380	35	23	LG SW- 400 SR	37	22.7
BW30LE-440	41	44	LG BW-400 R	41	43.7
XLE- 440	41	48	LG BW-400 R	41	47.9

Tabla 23. Membranas equivalentes elegidas en una primera simulación.

Elegidas estas membranas equivalentes de LG y arrancando la simulación del software en cada tren, obtenemos presiones de alimentación u operación mucho menores a la presión real en la planta, por lo que para podernos aproximar aún más al proceso real a través del software hemos tenido que elegir membranas de una peor calidad de permeado (área activa y flujo menores) para así poder aumentar la presión de alimentación en la simulación. Además, para poder simular las segundas etapas y poder elegir las membranas del software que cumplieran las especificaciones de presión de operación, hemos obtenido por elegir agua de entrada al segundo paso del tipo NaCl con 1000 ppm de TSD, para poder simplificar los resultados; por lo que en una primera aproximación hemos elegido unas membranas que posteriormente hemos tenido que cambiar por otras de peor calidad de permeado.

Es de mencionar que la planta Lanzarote IV opera inicialmente con un sistema de recuperación de energía a través de turbinas Pelton, como es de esperar el software de LG es demasiado moderno para poder simular con este tipo de bombas. Por lo que se ha elegido en el software, un sistema de recuperación de energía a través de turbocharger con una eficiencia de la bomba de entorno al 85 % (valor típico en este tipo de procesos para un turbocharger similar al modelo de ERI). Finalmente, las membranas elegidas para el software han sido las que se representan en la siguiente tabla:

Membrana	Area activa (m ²)	Flujo de permeado (m ³ /d)	Membrana	Area activa (m ²)	Flujo de permeado (m ³ /d)
SW30-380	35	34	LG SW-400 R G2	37	34.1
SW30HR-380	35	23	LG SW- 400 SR	37	22.7
BW30LE-440	41	44	LG BW-440 ES	37	39.7
XLE- 440	41	48	LG BW-440 UES	37	39.7

Tabla 24. Membranas equivalentes elegidas.

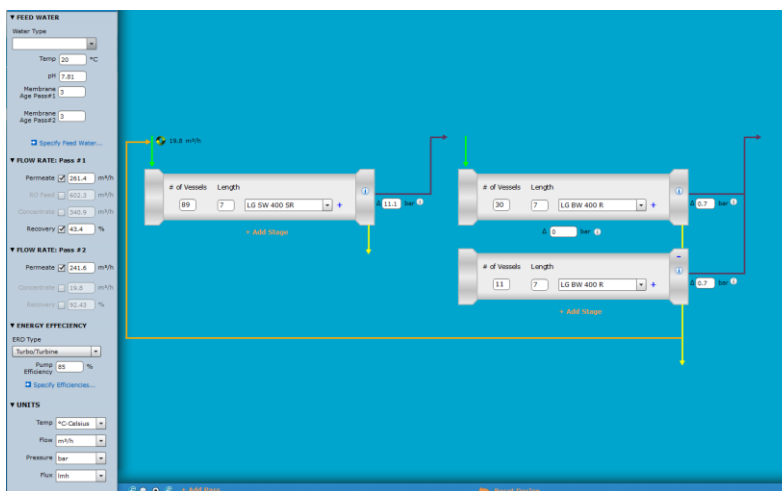


Figura 46. Simulación TREN 1 en NanoH2O.

	1	2	3	4	5	6	7	8
	Raw Feed	1P RO Feed	1P Brine	1P Product	2P RO Feed	2P Brine	Recirculation	2P Product
Flow: m ³ /h	582.50	602.30	340.90	261.40	261.40	19.80	19.80	241.60
Pressure: bar	0	68.03	67.26	11.10	10.88	9.62	9.62	0.70
TD6: ppm	38,430.33	37,218.69	65,601.52	122.15	122.10	1,570.79	1,570.79	3.20

Tabla 25. Resultados del Tren 1 con simulación NanoH2O.

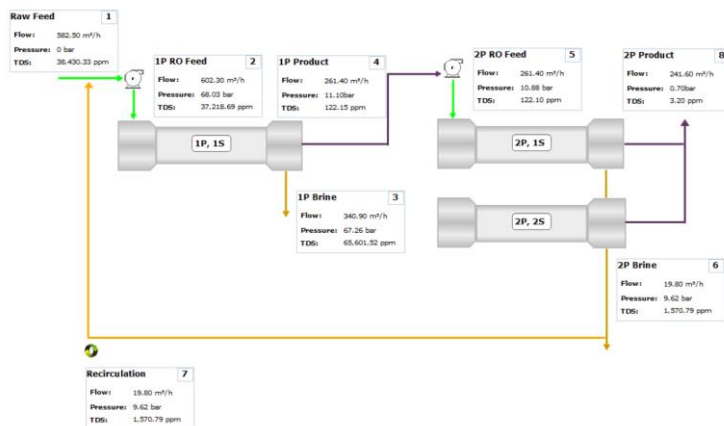


Figura 47. Diagrama TREN 1 obtenido en NanoH2O.

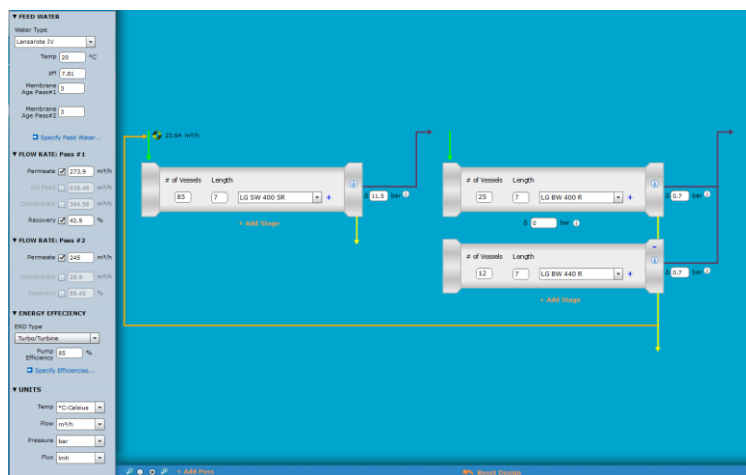


Figura 48. Simulación TREN 2 en NanoH2O.

	1	2	3	4	5	6	7	8
	Raw Feed	1P RO Feed	1P Brine	1P Product	2P RO Feed	2P Brine	Recirculation	2P Product
Flow: m ³ /h	614.82	638.46	364.56	273.90	273.90	28.90	23.64	245.00
Pressure: bar	0	69.63	68.68	11.50	12.06	9.76	9.76	0.70
TDS: ppm	38,430.33	37,045.08	64,747.94	109.79	109.75	1,016.40	1,016.40	2.63

Tabla 26. Resultados del Tren 2 con simulación NanoH2O.

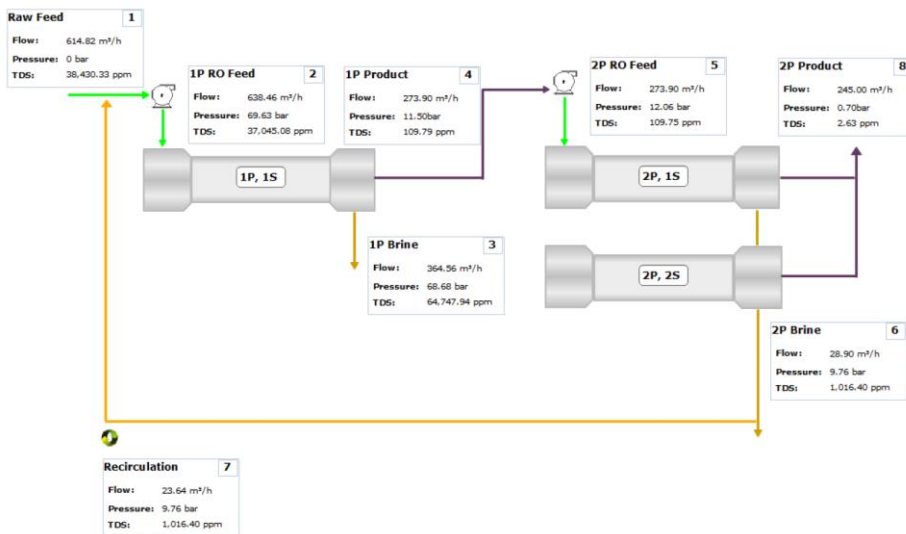


Figura 49. Diagrama TREN 2 obtenido en NanoH2O.

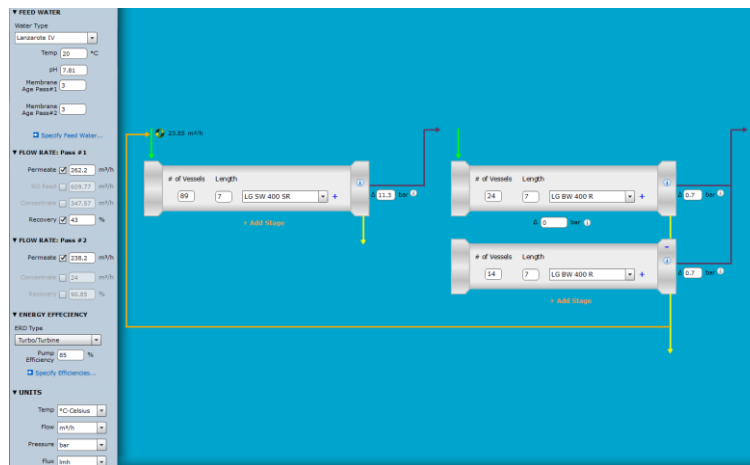


Figura 50. Simulación TREN 3 en NanoH2O.

	1	2	3	4	5	6	7	8
	Raw Feed	1P RO Feed	1P Brine	1P Product	2P RO Feed	2P Brine	Recirculation	2P Product
Flow: m ³ /h	585.92	609.77	347.57	262.20	262.20	24.00	23.85	238.20
Pressure: bar	0	67.76	66.97	11.30	11.77	10.06	10.06	0.70
TDS: ppm	38,430.33	36,977.44	64,758.73	120.23	120.19	1,282.67	1,282.67	2.88

Tabla 27. Resultados del Tren 3 con simulación NanoH2O.

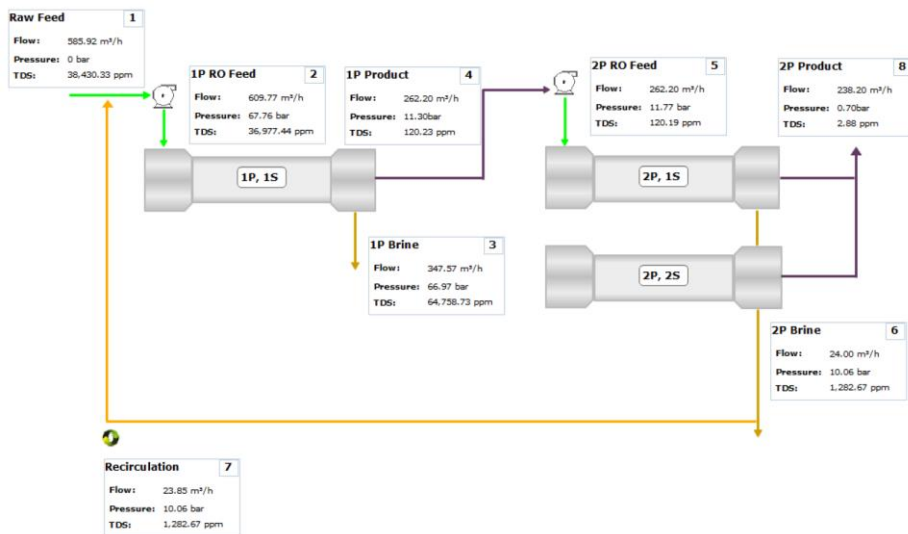


Figura 51. Diagrama TREN 3 obtenido en NanoH2O.

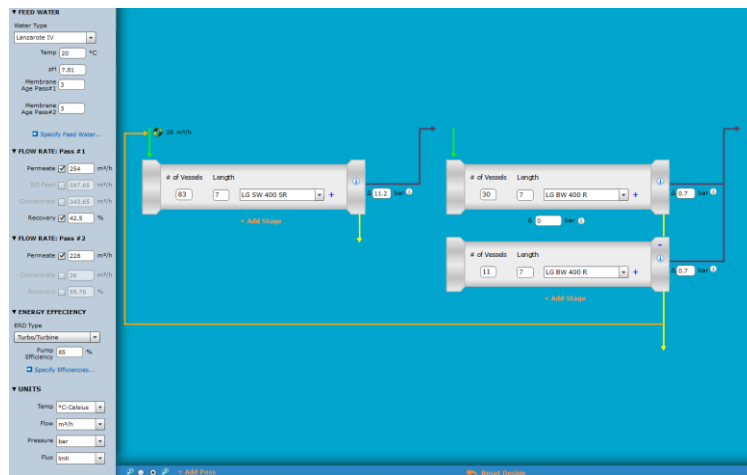


Figura 52. Simulación TREN 4 en NanoH2O.

	1	2	3	4	5	6	7	8
Flow: m³/h	571.65	597.65	343.65	254.00	254.00	26.00	26.00	228.00
Pressure: bar	0	67.81	66.94	11.20	10.27	8.95	8.95	0.70
TD5: ppm	38,430.33	36,805.87	63,894.28	114.30	114.26	1,088.15	1,088.15	3.03

Tabla 28.Resultados del Tren 4 con simulación NanoH2O.

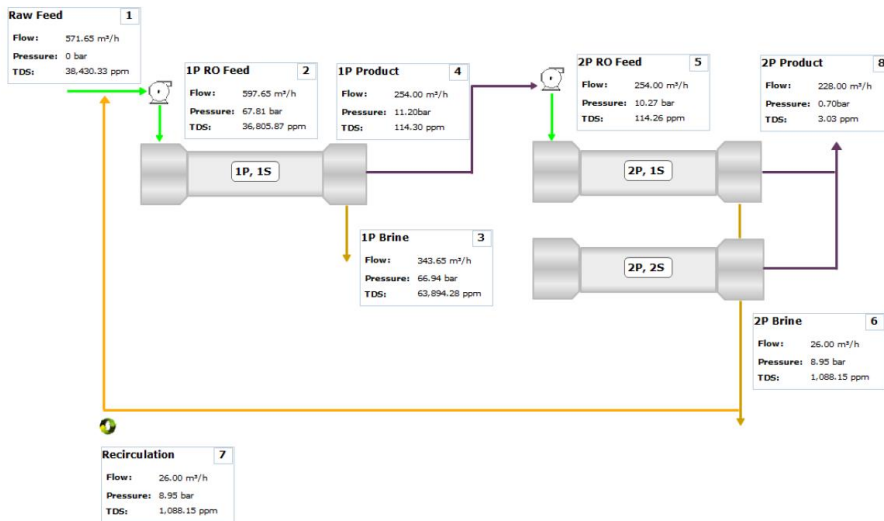


Figura 53. Diagrama TREN 4 obtenido en NanoH2O.

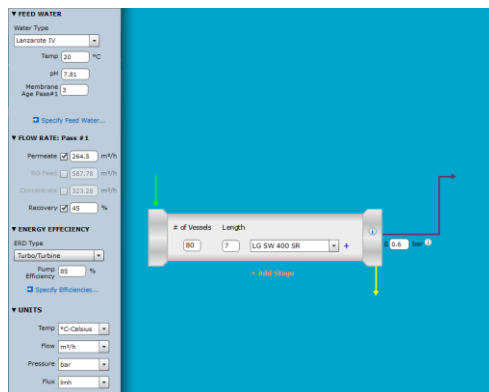


Figura 54. Simulación TREN 5 en NanoH2O.

	1	2	3	4
	Raw Feed	1P RO Feed	1P Brine	1P Product
Flow: m ³ /h	587.78	587.78	323.28	264.50
Pressure: bar	0	62.46	61.42	0.60
TDS: ppm	38,430.33	38,430.33	69,712.73	114.46

Tabla 29. Resultados del Tren 5 con simulación NanoH2O.

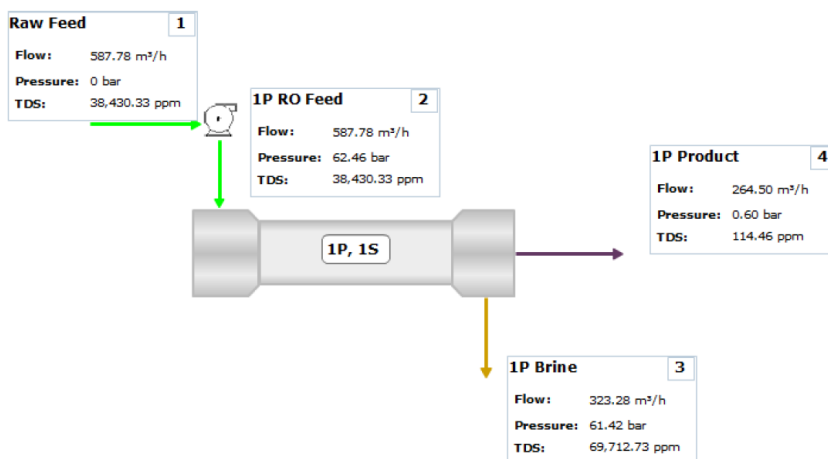


Figura 55. Diagrama TREN 5 obtenido en NanoH2O.

4.3.2. Consumo específico en cada TREN.

El consumo específico (SEC) es una medida de la energía consumida en la planta por unidad de caudal volumétrico de permeado. Resulta un parámetro fundamental para analizar la posible reducción de consumo con la posterior incorporación del proceso de intercambio de presión osmótica (PRO), por lo que se procede a un cálculo de referencia inicial con la instalación del turbocharger ERI, que trabaja en paralelo con la bomba sin necesidad de Booster.

4.3.2.1. Tren 1.

A continuación, se detallan los datos necesarios para llevar a cabo el cálculo del SEC:

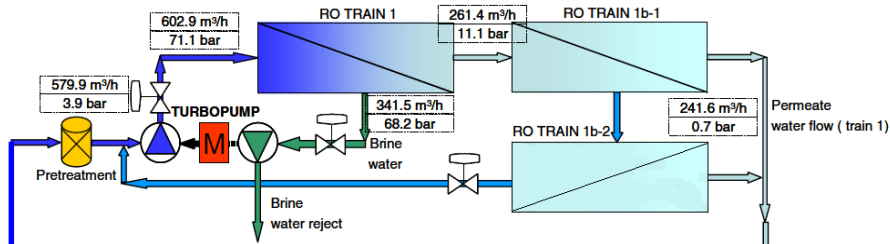


Figura 56. Diagrama TREN 1 situación real de Lanzarote IV.

El dispositivo ERI (turbina Pelton) posee una relación entre los caudales de concentrado y de alimentación al mismo fijada en un valor de 0,85.

En el Primer paso:

Bomba de alta presión (High Pressure Pump, HPP): Consideramos que presuriza un caudal volumétrico, qV_{HPP} , desde la presión ambiente, p_E , hasta $p_{F,HPP}$:

El rendimiento de la bomba de alta presión es del 80%.

Primer paso:

$$P_{W,HPP_2} = \frac{\left(\frac{q_{v,HPP}}{(m^3 * h^{-1}) * 3600} \right) * \left(\frac{p_{F,HPP} - p^E}{bar * 100^{-1}} \right)}{\eta_{HPP} * \eta_{motor}} * kW$$

$$= \frac{\left(\frac{610,6}{(m^3 * h^{-1}) * 3600} \right) * \left(\frac{71,3}{bar * 100^{-1}} \right)}{0,8 * 0,95} = 1591,22 kW$$

En la Turbina Pelton:

$$P_{W,PELTON_2} = \left(\frac{q_{v,PELTON}}{(m^3 * h^{-1}) * 3600} \right) * \left(\frac{p_{BRAIN} - p^E}{bar * 100^{-1}} \right) * \eta_{T,PELTON} =$$

$$= \left(\frac{345,1}{(m^3 * h^{-1}) * 3600} \right) * \left(\frac{69,1-0}{bar * 100^{-1}} \right) * 0,8 = 529,92 kW \text{ (Potencia producida)}$$

$$SEC_2 = \frac{P_{W,HPP} - P_{W,PELTON_2}}{q_{v,P}} = \frac{1591,22 kW - 529,92 kW}{245,0 m^3 * h^{-1}} = 4,33 kW * \frac{h}{m^3}$$

4.3.2.3. Tren 3.

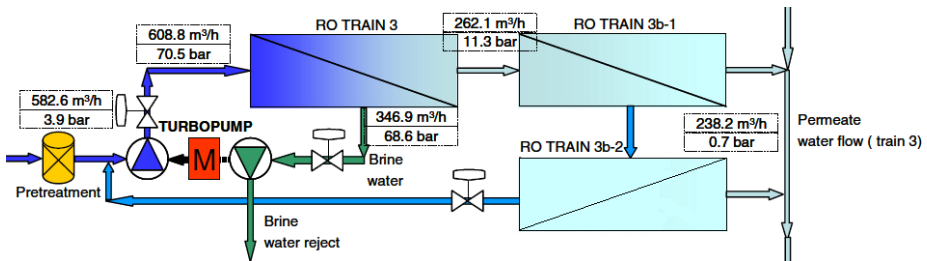


Figura 58. Diagrama TREN 3 situación real de Lanzarote IV.

Primer paso:

$$\begin{aligned}
 P_{W,HPP_3} &= \frac{\left(\frac{q_{v,HPP}}{(m^3 * h^{-1}) * 3600} \right) * \left(\frac{p_{F,HPP} - p^E}{bar * 100^{-1}} \right)}{\eta_{HPP} * \eta_{motor}} * kW \\
 &= \frac{\left(\frac{608,8}{(m^3 * h^{-1}) * 3600} \right) * \left(\frac{70,5}{bar * 100^{-1}} \right)}{0,8 * 0,95} = 1568,73 kW
 \end{aligned}$$

En la Turbina Pelton:

$$\begin{aligned}
 P_{W,PELTON_3} &= \left(\frac{q_{v,PELTON}}{(m^3 * h^{-1}) * 3600} \right) * \left(\frac{p_{BRAIN} - p^E}{bar * 100^{-1}} \right) * \eta_{T,PELTON} = \\
 &= \left(\frac{346,9}{(m^3 * h^{-1}) * 3600} \right) * \left(\frac{68,6 - 0}{bar * 100^{-1}} \right) * 0,8 = 528,83 kW \text{ (Potencia producida)}
 \end{aligned}$$

$$SEC_3 = \frac{P_{W,HPP} - P_{W,PELTON_3}}{q_{v,P}} = \frac{1568,73 kW - 528,83 kW}{238,2 m^3 * h^{-1}} = 4,37 kW * \frac{h}{m^3}$$

4.3.2.4. Tren 4

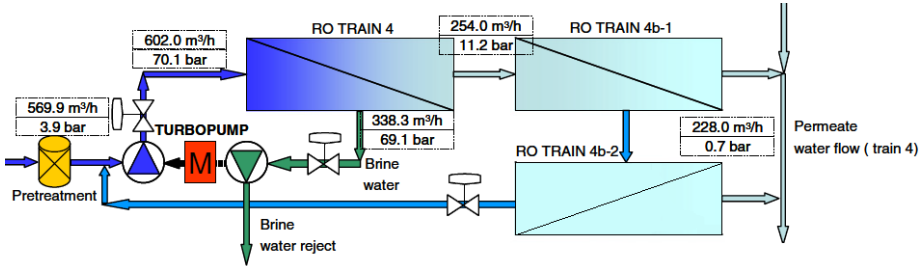


Figura 59. Diagrama TREN 4 situación real de Lanzarote IV.

Primer paso:

$$\begin{aligned}
 P_{W,HPP_4} &= \frac{\left(\frac{q_{v,HPP}}{(m^3 * h^{-1}) * 3600} \right) * \left(\frac{p_{F,HPP} - p^E}{bar * 100^{-1}} \right)}{\eta_{HPP} * \eta_{motor}} * kW \\
 &= \frac{\left(\frac{602,0}{(m^3 * h^{-1}) * 3600} \right) * \left(\frac{70,1}{bar * 100^{-1}} \right)}{0,8 * 0,95} = 1542,41 kW
 \end{aligned}$$

En la Turbina Pelton:

$$P_{W,PELTON_4} = \left(\frac{q_{v,PELTON}}{(m^3 * h^{-1}) * 3600} \right) * \left(\frac{p_{BRAIN} - p^E}{bar * 100^{-1}} \right) * \eta_{T,PELTON} =$$

$$= \left(\frac{338,3}{(m^3 * h^{-1}) * 3600} \right) * \left(\frac{69,1-0}{bar * 100^{-1}} \right) * 0,8 = 519,48 \text{ kW (Potencia producida)}$$

$$SEC_4 = \frac{P_{W,HPP} - P_{W,PELTON_4}}{q_{v,P}} = \frac{1542,41 \text{ kW} - 519,48 \text{ kW}}{228,0 \text{ m}^3 * h^{-1}} = 4,49 \text{ kW} * \frac{h}{m^3}$$

4.3.2.5. Tren 5.

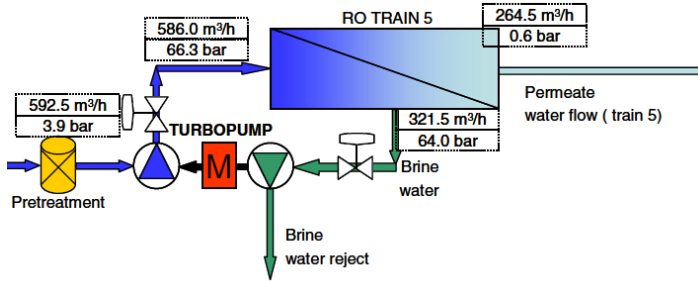


Figura 60. Diagrama TREN 5 situación real de Lanzaote IV

Primer paso:

$$P_{W,HPP_5} = \frac{\left(\frac{q_{v,HPP}}{(m^3 * h^{-1}) * 3600} \right) * \left(\frac{p_{F,HPP} - p^E}{bar * 100^{-1}} \right)}{\eta_{HPP} * \eta_{motor}} * kW$$

$$= \frac{\left(\frac{586,0}{(m^3 * h^{-1}) * 3600} \right) * \left(\frac{66,3}{bar * 100^{-1}} \right)}{0,8 * 0,95} = 1420,02 \text{ kW}$$

En la Turbina Pelton:

$$\begin{aligned}
 P_{W,PELTON_5} &= \left(\frac{q_{v,PELTON}}{(m^3 * h^{-1}) * 3600} \right) * \left(\frac{p_{BRAIN} - p^E}{bar * 100^{-1}} \right) * \eta_{T,PELTON} = \\
 &= \left(\frac{321,5}{(m^3 * h^{-1}) * 3600} \right) * \left(\frac{64,0-0}{bar * 100^{-1}} \right) * 0,8 = 457,24 \text{ kW (Potencia producida)}
 \end{aligned}$$

$$SEC_5 = \frac{P_{W,HPP} - P_{W,PELTON_5}}{q_{v,P}} = \frac{1420,02 \text{ kW} - 457,24 \text{ kW}}{264,5 \text{ m}^3 * h^{-1}} = 3,64 \text{ kW} * \frac{h}{m^3}$$

5. MODERNIZACIÓN LANZAROTE IV

5.1. Introducción.

Las plantas de desalación han visto una expansión considerable durante la pasada década debido al aumento de la necesidad de agua potable con el crecimiento de la población. La producción mundial de desalación de agua se estima en torno a los 30 millones de metros cúbicos al día.

Uno de los mayores retos de la industria desaladora, especialmente en aquellos países que dependen en gran medida del proceso de desalación para la obtención de agua potable, es el aprovechamiento de la corriente de rechazo, la cual está altamente concentrada tras pasar por el proceso de desalación. Por cada metro cúbico de agua desalada, se genera una cantidad equivalente de salmuera. La práctica más común en el tratamiento del rechazo es su descarga al mar, lo cual puede resultar a largo plazo, perjudicial para la vida acuática y la calidad del agua de mar disponible para su desalación. Por ello se investiga la integración de un sistema PRO que utilice la salmuera como solución concentrada para recuperar energía, con el fin de reducir tanto el consumo energético del proceso de desalación como la concentración de la salmuera, lo que limitaría su impacto en el medioambiente.

Otro reto importante es la eficiencia en el uso de la energía para la producción de agua ya que la desalación de agua de mar requiere más energía que cualquier otro método de tratamiento de agua. Sin embargo, la potencia consumida asociada a la desalación de agua de mar es exagerada e imprecisa cuando se utilizan membranas con bajo rendimiento. Nuestro reto es intercambiar las membranas por unas mas avanzadas que mejorarán la eficiencia a la vez que minimizarán los costes de operación.

5.2. Reequipamiento de los PV y membranas.

Para la modernización de las membranas de los tubos de presión nos hemos ayudado del software utilizado en el apartado 4 para la simulación de la planta Lanzarote IV.

Nuestra propuesta de modernización propone eliminar todos los segundos pasos de los trenes del 1 al 4, para abaratar los costes de operación y mantenimiento de la planta, siempre y cuando podamos cumplir la normativa Europea del Boro para agua potable ($\text{Boro} < 1,5 \text{ mg/l}$) [53].

Para el agua de mar con una determinada tendencia al ensuciamiento, el diseño y el funcionamiento del sistema se definirán mediante rangos de tolerancia muy específicos para varios parámetros clave (la tasa de recuperación total de los PV, el flujo de alimentación y la concentración polarización que está relacionada con el flujo y tasa de recuperación). De acuerdo con las pautas de diseño, se recomienda la producción máxima de elementos, la tasa de recuperación y / o la concentración de polarización (ensuciamiento de las membranas, soluto concentrado).

Además del ahorro de energía, debido al funcionamiento del sistema a una presión de alimentación más baja que en su configuración inicial, este enfoque de diseño también sería ventajoso para las tomas de agua de mar con alto potencial de ensuciamiento.

Las combinaciones de elementos con membranas de energía extra baja, como es el caso que nos ocupa, en la primera posición provocarán un aumento del desequilibrio de la productividad.

Además de los criterios anteriores, es necesario decidir la cantidad de cada elemento requerida para lograr un flujo de permeación uniforme a lo largo de los PV.

En conclusión, es una realidad que un flujo más alto y más equilibrado a lo largo de la PV reduce los costos. Las ventajas de la configuración de membrana entre etapas son: [54]

- Reducción del ensuciamiento debido a un flujo más bajo en el elemento de plomo.

- Mayor producción por fotovoltaica, lo que permite posibles reducciones en los requisitos de capital.
- Mayor productividad a la misma presión de alimentación y tasa de ensuciamiento con un consumo de energía reducido.
- Mayor productividad con la misma tasa de ensuciamiento con un consumo de energía reducido,
- Mayor tasa de recuperación a la misma presión de alimentación / tasa de ensuciamiento, lo que permite posibles mejoras económicas en la capacidad de la planta.

Además, si la tasa de recuperación y el flujo de alimentación se mantienen constantes, el diseño entre etapas permite reducir los costos de energía gracias al trabajo a presiones de alimentación más bajas (hemos conseguido reducir la presión media de alimentación de 68 bar a 53 bar). La tasa de recuperación alcanzada puede ser un 6-8% mayor en el caso del flujo de alimentación y las presiones son constantes. Se aumentarán los costes de capital de entre un 5 y un 8% ya que la instalación requerirá nuevos PV por la combinación de 8 membranas en vez de 7 por PV y las nuevas membranas.

De acuerdo con los criterios y análisis previos realizados por los autores [8], se recomiendan los siguientes HID de ocho elementos Lg para un PV: LG SW 440 GR para los trenes del 1 al 4 y el último tren con LG SW 400 R y tan sólo siete membranas por tubo.

En este trabajo, se simulan los HID recomendados para conocer el rendimiento de la fotovoltaica e identificar la combinación con mayor productividad y flujo equilibrado para la 1ª pasada de la planta SWRO de Lanzarote IV. Además de eso,

el diseño propuesto para la retroadaptación de PV debería tener un número similar de PV trabajando con datos de operación nominal.

Este elemento es un elemento de alto rendimiento y productividad que combina un área de membrana activa más alta con una membrana de RO de agua salobre de máximo rechazo. Además, la lámina de la membrana mantiene el máximo rechazo durante la vida útil del elemento RO de los solutos críticos, incluidos sílice, boro, amonio y nitrato. Específicamente para el rechazo de boro, el rechazo estabilizado es del 93% [55].

Frente a los elementos de agua de mar actualmente instalados (SW30 - 380 y SW30HR - 380), las membranas de nueva generación, con la misma longitud unitaria que las instaladas (1016 mm), tienen un área específica mayor de 440 ft² (41 m²) [55]. Este aumento de superficie permitirá obtener una mayor producción de agua. Otras ventajas de las membranas elegidas se resumen en la siguiente tabla en comparación con los elementos utilizados actualmente (Tabla 31).

Tipo de membrana	Flujo de permeado (m ³ /día)	Área Activa de Membrana (m ²)	Presión máxima aplicada (bar)	Rechazo de Boro (%)	Rechazo de Sales Estabilizado (%)
SW30-380 (obsoleta)	34,1	35,3	69,0	n.a.	99,40
SW30HR-380	22,7	35,3	68,9	n.a.	99,70
LG SW 440 GR ^a	31,2	41	82,7	93	99,89
LG SW 400 R ^a	34,1	37	82,7	93	99,89

n.a.: no disponible

^aHojas técnicas de la membrana LG (<https://www.lgwatersolutions.com/es/product/seawater-ro/>), 30 de agosto de 2021.

Tabla 30. Comparación de elementos Filmtec con © LG Chem [56].

Estos nuevos elementos ofrecen una combinación de alto rechazo y bajos requisitos de energía para permitir costes totales más bajos con agua de alimentación de salinidad media y alta. Las tapas de cierre con enclavamiento © 2017 LG Chem ayudan a reducir los costes operativos del sistema y reducen el riesgo de fugas en las juntas tóricas que causan una mala calidad del agua [57]. Este rendimiento se puede mezclar con otros tipos de elementos en el mismo PV.

Además, estos elementos incluyen un alto rechazo de NaCl y boro. La única desventaja es que, con la nueva configuración de 8 elementos por PV, deberemos cambiar todos los PV de la instalación. Lo que aumentará los costes de capital aunque disminuirá los costes de operación ya que disminuimos la presión de trabajo.

5.3. Modernización de las bombas de alta presión.

Con la nueva configuración de membranas hemos conseguido disminuir la presión de trabajo en el flujo de alimentación a un máximo de 54,49 bar por lo que para disminuir aún más el consumo específico vamos a reequipar las bombas principales actuales, ya que éstas tienen un rendimiento bajo, de en torno al 80%.

En nuestra búsqueda de bombas de alta presión hemos encontrado algunos inconvenientes. En una primera búsqueda, nos decantamos por las bombas de alta presión de Danfoss que trabajan a una alta presión y un rendimiento bastante óptimo. Pero estas bombas están diseñadas para instalaciones pequeñas por lo que este fabricante dispone de bombas que como máximo soportan un caudal de 90 m³/h cuando nuestra instalación demanda un caudal de entorno a 600 m³/h. Ya que este fabricante no nos podía dar las prestaciones que necesitábamos, nos decantamos por el fabricante Energy Recovery que dispone de bombas de alta presión de gran tamaño, algunas bombean caudales de hasta 1200 m³/h con un alto rendimiento, pero la presión máxima de trabajo no supera los 45 bar. Por lo que este fabricante tampoco puede satisfacer nuestras necesidades. [58]

Por tanto, hemos optado por el fabricante Sulzer, una empresa sueca que dispone de bombas multietapa segmentadas diseñadas específicamente para la alimentación de agua de mar a alta presión a las membranas de osmosis inversa en aplicaciones de desalación. El modelo elegido es el MBN-RO que soporta caudales de hasta 1100 m³/h y presión de trabajo hasta 100 bar, con un alto rendimiento ya que para todas las etapas se utilizan impulsores de alto rendimiento y bajo NPSH, lo que proporciona modularidad, alto rendimiento y una perfecta capacidad de aspiración. [59]



Figura 61. Bomba de sección anular multietapa MBN-RO © Sulzer Ltd 2020. [59]

Caudales	Hasta 1100 m ³ /h
Alturas	Hasta 900 m
Presiones	Hasta 100 bares
Temperaturas	Hasta 90 °C
Bridas de descarga	De 25 a 200 mm

Tabla 31. Características Bomba de sección anular multietapa MBN-RO. [59]

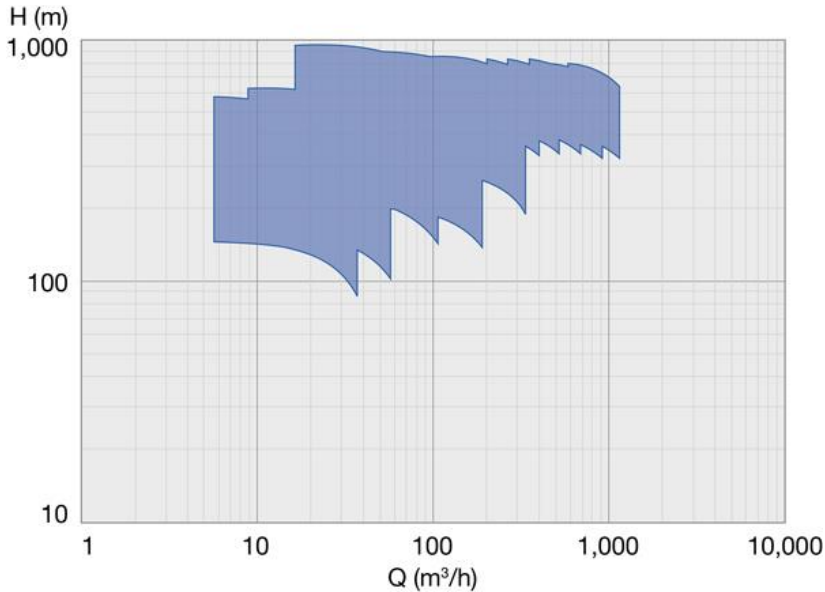


Tabla 32. Curva de rendimiento de una Bomba de sección anular multietapa MBN-RO. [59]

Pues la modernización consistiría en reemplazar las actuales bombas principales de alta presión por bombas MBN-RO que mejoran el rendimiento y disminuirán el SEC. Se colocará una de estas bombas en cada tren.

5.4. Modernización con recuperadores energéticos de ERI.

En un primer intento, hemos probado a poner recuperadores de energía iSave de Danfoss, pero estos están indicados para plantas de desalación pequeñas y su componente más robusto (ISAVE 70 180F7040) admite un caudal máximo de entre 50 y 70 m³/h. Por lo que hemos tenido que descartar esta opción [60].

Hemos encontrado que la marca Energy Recovery INC, ha fabricado trenes de máxima potencia en el que coloca recuperadores de energía en paralelo. En nuestro caso elegiremos el modelo ERI PX PT1800 powertrain que admite un flujo de entre 273 a 410 m³/h idóneo para la planta Lanzarote IV. Este modelo se adapta a una amplia gama de condiciones del sistema para adaptarse a las fluctuaciones

en los parámetros operativos y la demanda de producción, lo que proporciona gran flexibilidad además de ser un núcleo compacto, listo para instalarse y de fácil colocación. Cada línea o tren está compuesta de 6 ERI PX Q300 con un flujo máximo por componente de 68,1m³/h y una eficiencia máxima del 98%. En la siguiente tabla aparecen las especificaciones del modelo (Tabla 33).



Figura 62. The PX PowerTrain™ ERI PX PT1800 [60].

PX PT1800	m ³ /h: 273 – 410	CMD: 6,000	LP: 10 inch DN250	LP: Polypropylene	Train
	GPM: 1200 – 1800	MGD: 1.58	HP: 10 inch DN250	HP: Superduplex	U-flow

Tabla 33. Especificaciones de un PX PT1800 [60].

Esta configuración permite reducir el consumo de energía manteniendo la misma capacidad total de la planta. Las turbinas Pelton se descartan y se utiliza una de las centrales hidroeléctricas existentes cada dos trenes.

Esta configuración no requiere la sustitución del motor HPP ya que cubre la energía total demandada. Será necesario cambiar las secciones del cableado

eléctrico y las protecciones eléctricas de media tensión. Estas modificaciones no suelen ser un problema en el MVTs ya que la mitad de las HPP existentes están en uso y por lo tanto el consumo global en media tensión será menor que la opción con turbobombas. Por lo tanto, el MVTs no debería requerir extensiones.

La configuración no implica cambiar o extender la alimentación de agua de mar a baja presión bombeada, ya que exige la misma cantidad de agua de alimentación por tren. No se modifican ni la tasa de recuperación ni los flujos. Esta instalación no requiere una modificación de la instalación hidráulica ya que se instala un ERD en cada tren, pero requerirá una Bomba Booster (BOP).

Al introducir los BOP, cuyos motores funcionan a baja tensión con VFD, será necesario aumentar la Subestación de Transformadores de Baja Tensión (LVTs). La configuración apenas requiere espacio adicional ya que los ERD se pueden instalar en el mismo tren en los espacios que dejan las turbinas Pelton.

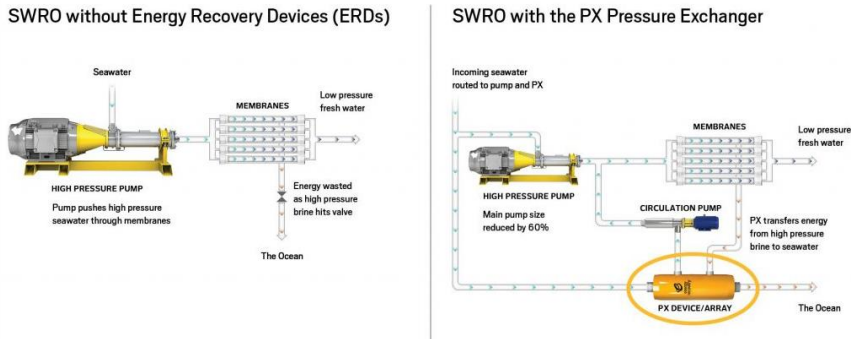


Figura 63. Configuración con intercambiadores de Presión PX [60].

5.5. Resultados y discusión.

La siguiente simulación se basa en la composición de agua de mar de pozo de playa existente: 39,152 mg / l, 20 ° C y pH 7,81. El resto de los parámetros del agua de alimentación se muestran en la Tabla 8. Se utilizó el software LG - NanoH₂O. El tren RO de 1ª pasada con 89 PV se analiza con un caudal de alimentación máximo por tren de 602,9 m³ / h. El segundo paso con 2 etapas se elimina en los

cuatro trenes. El único paso está calculado para obtener el mayor rechazo de boro para ayudar a cumplir con los estándares españoles de agua potable.

5.5.1. TREN 1

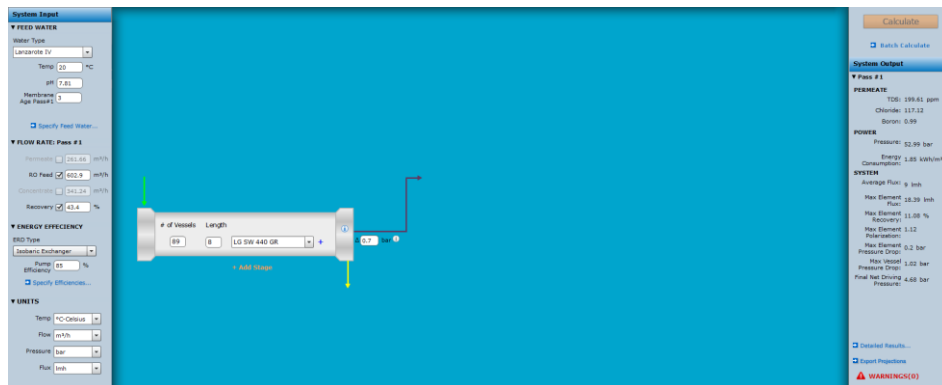


Figura 64. Actualización con recuperador de energía Tren 1.

		1	2	3	4
		Raw Feed	1P RO Feed	1P Brine	1P Product
Flow:	m³/h	602.90	602.90	341.24	261.66
Pressure:	bar	0	52.99	51.97	0.70
TDS:	ppm	38,430.33	38,430.33	67,746.63	199.61

Tabla 34. Resultados actualización Tren 1.

Este diseño permite no solo obtener un importante ahorro energético, debido a la menor presión de trabajo en comparación con los diseños actuales (hasta un 22,1% de ahorro), sino que también produce hasta un 8,3% más de permeado. La concentración de boro obtenida es de 0,99 mg / l, siendo la salinidad del agua de 199,61 mg/l. Este diseño permite trabajar hasta una presión máxima de alimentación de 1a pasada de 52,99 bar (manométrica) sin segundo paso y una tasa de recuperación del 43,4%, obteniendo una producción máxima de agua de 261,66m³/h por rack (aumento de producción del 8,3%). La concentración de boro en este rango de operación alcanzaría los 0,99 mg / l. No se tiene en cuenta la posibilidad de aumentar el pH del agua de alimentación con NaOH. Esta medida en la planta permitirá mejores reducciones en la concentración total de boro

permeado. Este resultado abre nuevas vías de solución al problema de la concentración de boro en el agua desalada.

Como se muestra en la figura 62, el número de PV de segundo paso se elimina; por lo que se reduce el número de PV de 130 a sólo 89 PV. Con este nuevo diseño solo se necesita el 68%.

El SEC se calcula:

Bomba de alta presión (High Pressure Pump, HPP): Consideramos que presuriza un caudal volumétrico, qV_{HPP} , desde la presión ambiente, p^E , hasta $p_{F,HPP}$:

Se considera un rendimiento global de la bomba de alta presión (bomba y motor) del 85%.

Consumo – introduciendo presiones en bar y caudal en m³-h-1:

$$P_{W,HPP_1} = \frac{\left(\frac{q_{v,HPP}}{(m^3 * h^{-1}) * 3600} \right) * \left(\frac{p_{F,HPP} - p^E}{bar * 100^{-1}} \right)}{\eta_{HPP} * \eta_{motor}} * kW$$

$$= \frac{\left(\frac{602,9 - 341,24}{(m^3 * h^{-1}) * 3600} \right) * \left(\frac{52,99}{bar * 100^{-1}} \right)}{0,85} = 453,12 kW$$

Bomba de circulación (Booster Pump, BP): Este tipo de bombas suele situarse tras un Energy Recovery Device (EDR) basado en cámara isobárica. Su consumo se calcula a partir de caudal volumétrico que atraviesa esta bomba y de las presiones de entrada y salida. En el ejemplo, qV_{ERD} , $p_{F,ERDout}$ – entrada - y $p_{F,HPP}$ - salida -, respectivamente.

Respecto a las presiones de entrada y salida: La presión de salida ha de ser la misma de la de salida de la bomba de alta presión, $p_{F,HPP}$, pues ese es el objetivo de la BP. Esta BP debe compensar las no idealidades del bastidor de membranas de ósmosis inversa y del dispositivo de recuperación energética:

- La circulación por el bastidor de membranas de ósmosis inversa produce una pérdida de carga, $\Delta p_{Loss, F_BD}$.

- En el lado de alta presión del ERD, la presión de salida de la alimentación no llega a alcanzar la presión de entrada de la salmuera. La diferencia es $HP - DP$.

La ecuación que relaciona las mencionadas presiones es:

$$\begin{aligned}
 p_{F,HPP} - p_{F,ERD_{out}} &= \Delta p_{Loss,FBD} + HPDP \\
 P_{W,BP_1} &= \frac{\left(\frac{q_{v,ERD}}{(m^3 * h^{-1}) * 3600} \right) * \left(\frac{p_{F,HPP} - p_{F,ERD_{out}}}{bar * 100^{-1}} \right)}{\eta_{HPP} * \eta_{motor}} * kW \\
 &= \frac{\left(\frac{341,24}{(m^3 * h^{-1}) * 3600} \right) * \left(\frac{(52,99 - 51,97) + 0,70}{bar * 100^{-1}} \right)}{0,85 * 0,93} = 20,63 kW
 \end{aligned}$$

Consumo específico de un sistema de desalación: Specific Energy Consumption (SEC)

$$\begin{aligned}
 SEC_1 &= \frac{P_{W,HPP_1} + P_{W,BP_1}}{q_{v,p}} = \\
 &= \frac{453,12 kW + 20,63 kW}{261,66 m^3 * h^{-1}} = 1,81 kW * \frac{h}{m^3}
 \end{aligned}$$

El SEC se reduce de un 3,66 a un $1,81 kW * \frac{h}{m^3}$, por lo que tenemos una reducción de consumo de un 50,53%.

5.5.2. TREN 2

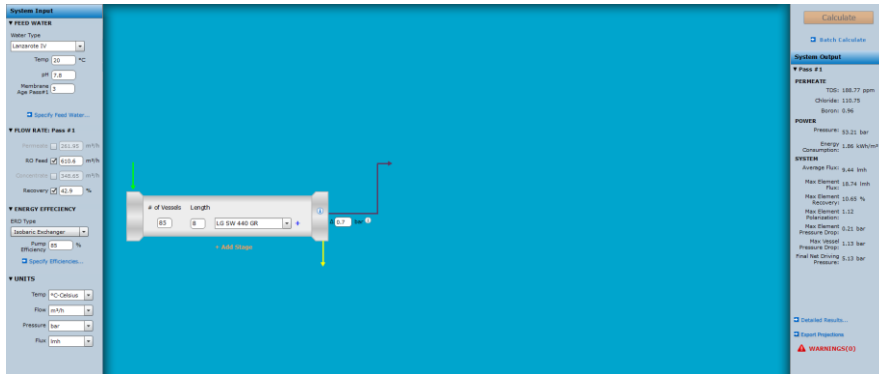


Figura 65. Actualización con recuperador de energía Tren 2.

	Raw Feed	1PRO Feed	1P Brine	1P Product
Flow: m ³ /h	610.60	610.60	348.65	261.95
Pressure: bar	0	53.21	52.08	0.70
TDS: ppm	38,430.33	38,430.33	67,142.48	188.77

Tabla 35. Resultados actualización Tren 2.

$$P_{W,HPP_2} = \frac{\left(\frac{q_{v,HPP}}{(m^3 * h^{-1}) * 3600} \right) * \left(\frac{p_{F,HPP} - p^E}{bar * 100^{-1}} \right)}{\frac{\eta_{HPP} * \eta_{motor}}{0,85}} * kW =$$

$$= \frac{\left(\frac{610,6 - 348,65}{(m^3 * h^{-1}) * 3600} \right) * \left(\frac{53,21}{bar * 100^{-1}} \right)}{0,85} = 455,50 kW$$

$$P_{W,BP_2} = \frac{\left(\frac{q_{v,ERD}}{(m^3 * h^{-1}) * 3600} \right) * \left(\frac{p_{F,HPP} - p_{F,ERDout}}{bar * 100^{-1}} \right)}{\frac{\eta_{HPP} * \eta_{motor}}{0,85 * 0,93}} * kW$$

$$= \frac{\left(\frac{348,65}{(m^3 * h^{-1}) * 3600} \right) * \left(\frac{(53,21 - 52,08) + 0,7}{bar * 100^{-1}} \right)}{0,85 * 0,93} = 22,42 kW$$

$$SEC_2 = \frac{P_{W,HPP_2} + P_{W,BP_2}}{q_{v,P}} = \frac{455,50 \text{ kW} + 22,42 \text{ kW}}{261,95 \text{ m}^3 * \text{h}^{-1}} = 1,82 \text{ kW} * \frac{\text{h}}{\text{m}^3}$$

El SEC se reduce de un 4,33 a un $1,82 \text{ kW} * \frac{\text{h}}{\text{m}^3}$, por lo que tenemos una reducción de consumo de un 57,86%.

5.5.3. TREN 3

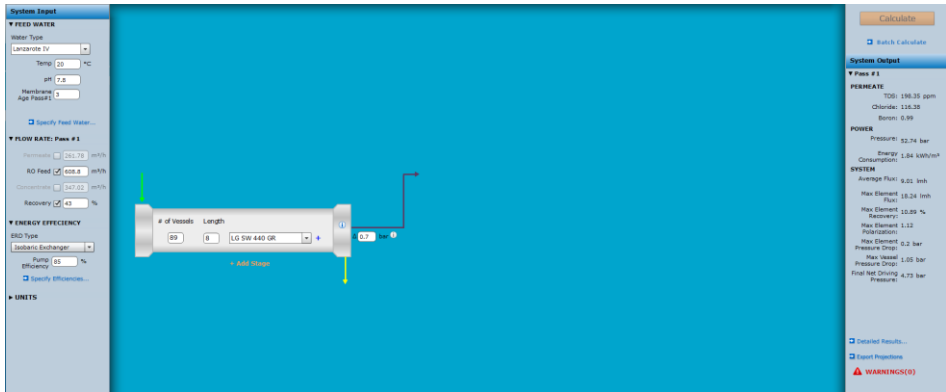


Figura 66. Actualización con recuperador de energía Tren 3.

	Raw Feed	1P RO Feed	1P Brine	1P Product
Flow: m³/h	608.80	608.80	347.02	261.78
Pressure: bar	0	52.74	51.69	0.70
TDS: ppm	38,430.33	38,430.33	67,253.50	198.35

Tabla 36. Resultados actualización Tren 3.

$$P_{W,HPP_3} = \frac{\left(\frac{q_{v,HPP}}{(m^3 * h^{-1}) * 3600} \right) * \left(\frac{p_{F,HPP} - p^E}{bar * 100^{-1}} \right)}{\frac{\eta_{HPP} * \eta_{motor}}{\left(\frac{608,8 - 347,02}{(m^3 * h^{-1}) * 3600} \right) * \left(\frac{52,74}{(bar * 100^{-1})} \right)}} * kW$$

$$= \frac{0,85}{0,85} = 451,19 \text{ kW}$$

$$P_{W,BP_3} = \frac{\left(\frac{q_{v,ERD}}{(m^3 * h^{-1}) * 3600} \right) * \left(\frac{p_{F,HPP} - p_{F,ERDout}}{bar * 100^{-1}} \right)}{\eta_{HPP} * \eta_{motor}} * kW$$

$$= \frac{\left(\frac{347,02}{(m^3 * h^{-1}) * 3600} \right) * \left(\frac{(52,74 - 51,68) + 0,7}{bar * 100^{-1}} \right)}{0,85 * 0,93} = 21,46 kW$$

$$SEC_3 = \frac{P_{W,HPP_3} + P_{W,BP_3}}{q_{v,P}} = \frac{451,19 kW + 21,46 kW}{261,78 m^3 * h^{-1}} = 1,81 kW * \frac{h}{m^3}$$

El SEC se reduce de un 4,37 a un $1,81 kW * \frac{h}{m^3}$, por lo que tenemos una reducción de consumo de un 58,68%.

5.5.4. TREN 4

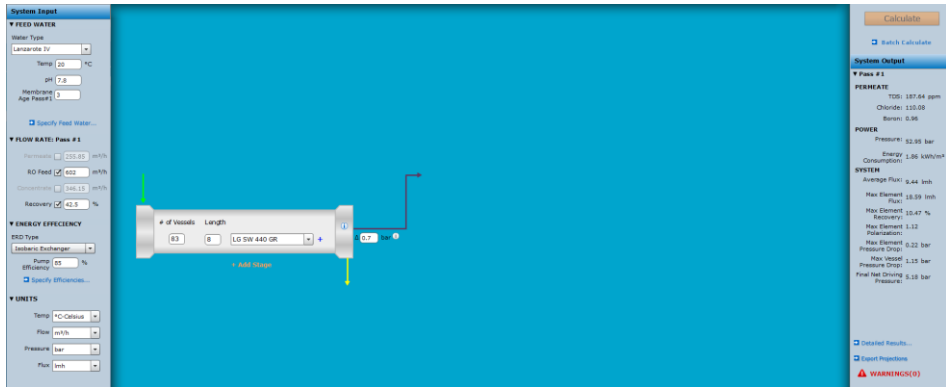


Figura 67. Actualización con recuperador de energía Tren 4.

	Raw Feed	1P RO Feed	1P Brine	1P Product
Flow: m ³ /h	602.00	602.00	346.15	255.85
Pressure: bar	0	52.95	51.80	0.70
TDS: ppm	38,430.33	38,430.33	66,662.01	187.64

Tabla 37. Resultados actualización Tren 4.

$$P_{W,HPP_4} = \frac{\left(\frac{q_{v,HPP}}{(m^3 * h^{-1}) * 3600} \right) * \left(\frac{p_{F,HPP} - p^E}{bar * 100^{-1}} \right)}{\frac{\eta_{HPP} * \eta_{motor}}{\left(\frac{602,0 - 346,15}{(m^3 * h^{-1}) * 3600} \right) * \left(\frac{52,95}{bar * 100^{-1}} \right)}} * kW$$

$$= \frac{0,85}{0,85} = 442,72 kW$$

$$P_{W,BP_4} = \frac{\left(\frac{q_{v,ERD}}{(m^3 * h^{-1}) * 3600} \right) * \left(\frac{p_{F,HPP} - p_{F,ERDout}}{bar * 100^{-1}} \right)}{\frac{\eta_{HPP} * \eta_{motor}}{\left(\frac{346,15}{(m^3 * h^{-1}) * 3600} \right) * \left(\frac{(52,95 - 51,80) + 0,7}{bar * 100^{-1}} \right)}} * kW$$

$$= \frac{0,85 * 0,93}{0,85 * 0,93} = 22,56 kW$$

$$SEC_4 = \frac{P_{W,HPP_4} + P_{W,BP_4}}{q_{v,P}} = \frac{442,72 kW + 22,56 kW}{255,85 m^3 * h^{-1}} = 1,82 kW * \frac{h}{m^3}$$

El SEC se reduce de un 4,49 a un 1,82 $kW * \frac{h}{m^3}$, por lo que tenemos una reducción de consumo de un 59,47%.

5.5.5. TREN 5

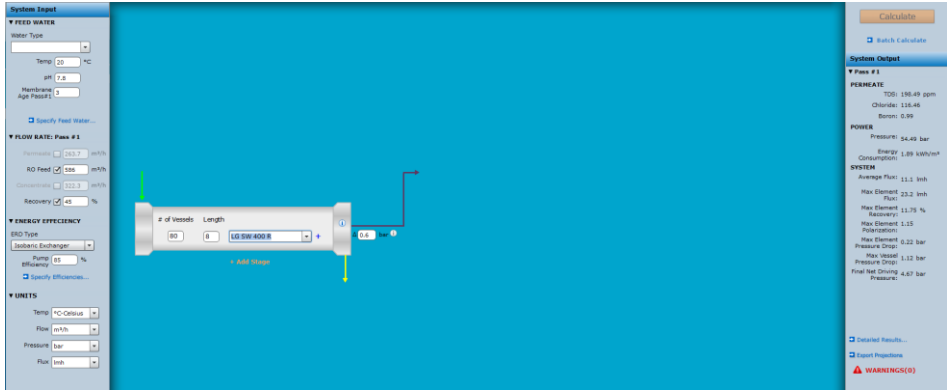


Figura 68. Actualización con recuperador de energía Tren 5.

	Raw Feed	1PRO Feed	1P Brine	1P Product
Flow: m³/h	586.00	586.00	322.30	263.70
Pressure: bar	0	54.49	53.36	0.60
TDS: ppm	38,430.33	38,430.33	69,703.62	198.49

Tabla 38. Resultados actualización Tren 5.

$$P_{W,HPP_5} = \frac{\left(\frac{q_{v,HPP}}{(m^3 * h^{-1}) * 3600} \right) * \left(\frac{p_{F,HPP} - p^E}{bar * 100^{-1}} \right)}{\eta_{HPP} * \eta_{motor}} * kW$$

$$= \frac{\left(\frac{586,0 - 322,3}{(m^3 * h^{-1}) * 3600} \right) * \left(\frac{54,49}{bar * 100^{-1}} \right)}{0,85} = 469,58 kW$$

$$P_{W,BP_5} = \frac{\left(\frac{q_{v,ERD}}{(m^3 * h^{-1}) * 3600} \right) * \left(\frac{p_{F,HPP} - p_{F,ERDout}}{bar * 100^{-1}} \right)}{\eta_{HPP} * \eta_{motor}} * kW$$

$$= \frac{\left(\frac{322,3}{(m^3 * h^{-1}) * 3600} \right) * \left(\frac{(54,49 - 53,36) + 0,7}{bar * 100^{-1}} \right)}{0,85 * 0,93} = 20,73 kW$$

$$SEC_5 = \frac{P_{W,HPP_5} + P_{W,BP_5}}{q_{v,P}} = \frac{469,58 \text{ kW} + 20,73 \text{ kW}}{263,70 \text{ m}^3 * \text{h}^{-1}} = 1,86 \text{ kW} * \frac{\text{h}}{\text{m}^3}$$

Se reduce la presión de operación un 16,55 % lo que conlleva a una reducción del SEC del 48,92%. Se reduce el SEC, pero hay una pequeña disminución del producto – permeado en un 0,3 % y un aumento en el número de membranas de un 14,29 %.

5.6. Estudio económico de la modernización de Lanzarote IV.

TABLA DE COSTES			
	€/Unidad	Unidades	Precio Total (€)
Bombas de alta presión MBN-RO Sulzer	20.000,00	5,00	100.000,00
Bastidor de membranas			
Tubos de Presion 8 membranas	1.050,00	426,00	447.300,00
Membranas LG SW 440 GR	400,00	2.768,00	1.107.200,00
Membranas LG SW 400 R	400,00	640,00	256.000,00
Recuperadores Energéticos			
ERI PX PT1800	200.000,00	5,00	1.000.000,00
Total ejecución material			2.910.500,00
13% Gastos Generales			378.365,00
6% Beneficio Industrial			174.630,00

Suma de G.G Y B.I	552.995,00
21% I.V.A.	611.205,00
TOTAL PRESUPUESTO CONTRATA	4.074.700,00
TOTAL PRESUPUESTO GENERAL	4.074.700,00

Tabla 39. Resumen Presupuesto de la Inversión.

Considerando el precio del agua de salada en España en torno a 0,90 €/m³ y con una producción de 1304,94 m³/h, nuestra Inversión de capital sería amortizada y reuperada en torno a 5 meses de producción.

CONCLUSIONES

	Estado inicial Lanzarote IV							Modernización Lanzarote IV						
	PV	Membranas (7)	Presión (bar)*	Permeado (m³/h)	Red. boro (mg/l)	TDS (mg/l)	SEC ($kWh \frac{m^3}{m^2}$)	PV	Membranas (8)	Presión (bar)*	Permeado (m³/h)	Red. boro (mg/l)	TDS (mg/l)	SEC ($kWh \frac{m^3}{m^2}$)
TREN 1	130	910	70,1	241,6	0,71	122,1	3,66	89	712	52,99	261,66	0,99	199,61	1,81
TREN 2	122	854	70,3	245	0,65	109,79	4,33	85	680	53,21	261,95	0,96	188,77	1,82
TREN 3	127	889	69,5	238,2	0,70	120,23	4,37	89	712	52,74	261,78	0,99	198,35	1,81
TREN 4	124	868	69,1	228,0	0,67	114,30	4,49	83	664	52,95	255,85	0,96	187,64	1,82
TREN 5	80	560	65,3	264,5	0,66	114,46	3,64	80	640	54,49	263,70	0,99	198,49	1,86
TOTAL	583	4081		1217,3				426	3408		1304,94			
*manométrica														

Tabla 40. Tabla comparativa de resultados en el estado actual y modernización de Lanzarote IV.

La isla de Lanzarote se convierte en un ejemplo destacado del siglo XXI en cuanto al uso exclusivo de fuentes de agua industriales (desalación y en menor medida regeneración de agua), para dar cabida al crecimiento poblacional, el turismo y la demanda agrícola.

Entre 2006 y 2008 la demanda de agua desalada en la Isla ha crecido considerablemente obligando a los gestores a adaptar constantemente el suministro de agua dulce. La dependencia energética del ciclo del agua en la isla es relevante, por lo que cualquier medida correctiva que se ofrezca será bienvenida si se obtiene más recurso con el menor coste energético posible. En este sentido, la planta de SWRO Lanzarote IV con 30.000 m³/día de capacidad instalada y más de 8 años de operación es un excelente ejemplo para proponer reformas con el fin de reducir el consumo energético del proceso, obteniendo además otra serie de operación y mantenimiento, así como ahorro de costes de capital.

Este documento describe y simula la posible modernización de Pelton por líneas de recuperadores de energía PX ERI dentro de la planta de SWRO de Lanzarote IV. En general, se han simulado diversas situaciones, concluyendo que el diseño compuesto por una única etapa con elementos SW LG SW 440 GR para los trenes del 1 al 4 y el último tren con LG SW 400 R reúne las mejores ventajas para lograr una mejora sustancial de la producción y reducción de energía en la planta desaladora. Este diseño puede reducir el consumo de energía actual en un 55 % al reducir la presión de trabajo a 53,27 bar. La línea de tubos de presión diseñada con esta combinación de elementos da flexibilidad y permite incrementar la producción de permeado hasta un 7,2 % en el momento en que se requiere una mayor capacidad. Además, es posible reducir el número de PV ya que se elimina el segundo paso en más de 41.

Además, se analizan y describen hasta cuatro posibles modificaciones para los cinco trenes RO existentes. Como la desaladora de Lanzarote IV es una instalación que no dispone de espacios para ampliaciones, se recomienda la sustitución de las turbinas Pelton por ERD isobáricas conectada a cada tren RO para los trenes RO núms. 1 a 5. El requerimiento total de energía en esta configuración es de 1300 kW, por lo que se obtiene un ahorro del 26,11 % con una reducción de la SEC en 1,81 kWh/m³ en esta aplicación. Este ahorro permite una rápida recuperación de la inversión en equipos nuevos instalados de muy bajo coste.

Stage	Position	Element Type	RO Feed	Permeate Flow	Flux	Element Recovery	Pressure Drop	Net Driving Pressure	Polarization	Feed Salinity	Permeate Salinity
			m ³ /h	m ³ /h	lmh	%	bar			ppm	ppm
1	1	LG SW 440 GR	6.77	0.75	18.39	11.08	0.20	20.89	1.12	38,430.33	75.72
1	2	LG SW 440 GR	6.02	0.60	14.67	9.94	0.17	17.53	1.11	43,209.78	104.55
1	3	LG SW 440 GR	5.42	0.47	11.46	8.63	0.14	14.43	1.09	47,968.80	145.22
1	4	LG SW 440 GR	4.96	0.36	8.82	7.26	0.12	11.71	1.07	52,483.77	201.80
1	5	LG SW 440 GR	4.60	0.27	6.72	5.97	0.11	9.38	1.06	56,579.45	279.27
1	6	LG SW 440 GR	4.32	0.21	5.11	4.82	0.10	7.46	1.05	60,155.43	383.50
1	7	LG SW 440 GR	4.11	0.16	3.88	3.85	0.09	5.91	1.04	63,185.06	521.06
1	8	LG SW 440 GR	3.96	0.12	2.97	3.06	0.09	4.68	1.03	65,696.76	698.68

Tabla 41. Flujo de permeado por elemento LG SW 440 GR.

Stage	Position	Element Type	RO Feed	Permeate Flow	Flux	Element Recovery	Pressure Drop	Net Driving Pressure	Polarization	Feed Salinity	Permeate Salinity
			m ³ /h	m ³ /h	lmh	%	bar			ppm	ppm
1	1	LG SW 400 R	7.33	0.86	23.20	11.75	0.22	21.69	1.15	38,430.33	73.13
1	2	LG SW 400 R	6.46	0.68	18.32	10.52	0.18	18.08	1.13	43,538.32	102.41
1	3	LG SW 400 R	5.78	0.53	14.16	9.09	0.16	14.79	1.11	48,644.80	144.17
1	4	LG SW 400 R	5.26	0.40	10.78	7.61	0.14	11.91	1.09	53,491.70	202.82
1	5	LG SW 400 R	4.86	0.30	8.13	6.21	0.12	9.49	1.07	57,878.04	283.74
1	6	LG SW 400 R	4.56	0.23	6.12	4.98	0.11	7.51	1.05	61,691.44	393.26
1	7	LG SW 400 R	4.33	0.17	4.61	3.95	0.10	5.92	1.04	64,905.25	538.47
1	8	LG SW 400 R	4.16	0.13	3.50	3.13	0.10	4.67	1.03	67,554.98	726.59

Tabla 42. Flujo de permeado por elemento LG SW 400 R.

REFERENCIAS

- [0] <https://www.argentinaforestal.com/2020/03/22/22-de-marzo-dia-mundial-del-agua-el-cambio-climatico-y-la-escasez-del-agua/>
- [1] Joyner Eke, Ahmed Yusuf , Adewale Giwa, Ahmed Sodiq, Desalination Volume 495, 1 December 2020, 114633.
- [2] Global Water Intelligence, Desalination plants, Desaldata, <https://www.desaldata.com/>, (Marzo 2021).
- [3] Peñate Suárez, B .; García-Rodríguez, L. *Diseño energéticamente eficiente de la tecnología de desalación por ósmosis inversa de agua de mar*. Máster en Sistemas de Energía Térmica. ETSI, Universidad de Sevilla, curso 2019/20.
- [4] N. Voutchkov, Energy use for membrane seawater desalination – current status and trends, Desalination. 431 (2018) 2–14, <https://doi.org/10.1016/j.desal.2017.10.033>.
- [5] D. Zarzo, D. Prats, Desalination and energy consumption. What can we expect in the near future? Desalination. 427 (2018) 1–9, <https://doi.org/10.1016/j.desal.2017.10.046>.
- [6] A.A. Alsarayreh, M.A. Al-Obaidi, A.M. Al-Hroub, R. Patel, I.M. Mujtaba, Evaluation and minimisation of energy consumption in a medium-scale reverse osmosis brackish water desalination plant, J. Clean. Prod. 248 (2020) 119220, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119220>.
- [7] Joyner Eke, Ahmed Yusuf , Adewale Giwa, Ahmed Sodiq, Desalination Volume 495, 1 December 2020, 114633.

- [8] *Desalación en España: Orígenes y evolución.* <https://aedyr.com/desalacion-espana-origenes-evolucion/> (Marzo 2021)
- [9] Peñate Suárez, B .; García-Rodríguez, L. *Diseño energéticamente eficiente de la tecnología de desalación por ósmosis inversa de agua de mar.* Máster en Sistemas de Energía Térmica. ETSI, Universidad de Sevilla, curso 2019/20.
- [10] Xavier Simon, “Ósmosis directa: Procesos y aplicaciones.” F. 2014. Universidad Tecnológica de Nanyang, Singapur. Consultado en Marzo de 2021 en https://www.researchgate.net/publication/263505688_Osmosis_directa_proceso_y_aplicacionesEwfds
- [11] ED / EDR - Zero Liquid Discharge <https://www.lenntech.es/processes/Brine-Treatment/conventional-brine-treatment/edr.htm> (Marzo 2021)
- [12] López Martín, M. J. (2015). Diseño de planta de tratamiento de agua potable por ósmosis inversa para un buque de pasaje. Universidad de Cantabria.
- [13] IDA desalination yearbook 2015, 20163, Media Analytics Ltd, ISBN 9781907467400Ds
- [14] Ronan K. McGovern, JohnH.LienhardV. “On the potential of forward osmosis to energetically outperform reverse osmosis desalination.” Journal of Membrane Science, 469, 2014, pp. 245-250.
- [15] JR Ziolkowska, *líderes en desalación en el mercado global - tendencias actuales y perspectivas de futuro*, Water Sci. Technol. Abastecimiento de agua 16 (2016) 563 - 578, <https://doi.org/10.2166/ws.2015.184>.
- [16] De Miguel Bello M. “Sistemas de captación en desaladoras de agua de mar Tomas abiertas” . Consultado en Abril 2021 en:

<https://www.iagua.es/blogs/mario-miguel-bello/sistemas-captacion-desaladoras-agua-mar>

- [17] *Materiales para conducciones en desaladoras* <https://ph-technology.net/materiales-para-conducciones-en-desaladoras/> (abril 2021)
- [18] Peñate Suárez, B. ; García-Rodríguez, L. *Diseño energéticamente eficiente de la tecnología de desalación por ósmosis inversa de agua de mar*. Máster en Sistemas de Energía Térmica. ETSI, Universidad de Sevilla, curso 2019/20.
- [19] Peñate Suárez, B. ; García-Rodríguez, L. *Diseño energéticamente eficiente de la tecnología de desalación por ósmosis inversa de agua de mar*. Máster en Sistemas de Energía Térmica. ETSI, Universidad de Sevilla, curso 2019/20.
- [20] Gutiérrez López, B. *Recuperación de energía de la salmuera*. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Madrid. Diciembre, 2012.
- [21] *Guía de desalación: aspectos técnicos y sanitarios en la producción de agua de consumo humano*. Ministerio de Sanidad y política social (2009)
- [22] Hernández Suárez M. *Guía para la remineralización de aguas desaladas*, 2ª edición. (Agosto 2010)
- [23] Talavera José Luis. *Avances en la investigación e ingeniería de las técnicas e instalaciones de desalación de agua de mar en las Islas Canarias*. Introducción al diseño de grandes plantas desaladoras de agua de mar (Febrero 2017).
- [24] Medina San Juan José Antonio. *Desalación de aguas salobres y de mar*. Ósmosis Inversa. Ediciones Mundi-Prensa. (2000):
- [25] SWRO desalination plant uses ERI pressure exchanger. *Membrane Technology*, (2008): p. 2-3.

- [26] Stover R.L. *Development of a fourth generation energy recovery device A CTOs Notebook*. Desalination, (2004). 165: p. 313–321
- [27] World Pumps: *Salino pressure center for RO seawater desalination*. (Diciembre 2012)
- [28] Schneider B. *Selección, operación y control de un sistema de recuperación de energía de intercambiador de trabajo basado en el Proyecto Singapur*. Desalación, 184 (2005), pág. 1177-1190.
- [29] Schallenberg Rodríguez J., Veza J.M., Blanco Marigorta A., *Energy efficiency and desalination in the Canary Islands, Renewable and Sustainable Energy Reviews*, (2014)40,741–748.
- [30] S. Mambretti, E.O., S. Gagliardi, R. Stover, *Behaviour of energy recovery devices in unsteady flow conditions and application in the modelling of the Hama desalination plant*. Desalination, 2009. 238: p. 233–245.
- [31] Energy recovery device is designed to make desalination affordable. *Membrane Technology*, (2008). (4): p. 15-20.
- [32] SALAS, J .; BERNAOLA, FJ; PÉREZ, J .; RUESCAS, B .; RIAZA, A .; MOIÑO, R .; ALMAGRO, P. *Diseño e ingeniería de la planta desaladora de agua de mar de Qingdao, China*. Desalación. Septiembre de 2008. pp. 1-4.
- [33] Cameron, I. and R. Clemente, SWRO with ERI's PX Pressure Exchanger device — a global survey. Desalination, (2008). 221(1-3): p. 136-142. 34. *Advanced energy recovery device for reverse osmosis membrane systems. Environmental Thinking*, (1).
- [34] ERI, Doosan - ERI Technical Presentation. 2011.
- [35] *Tecnología isobárica DWEER*. Consultado en abril de 2021 en <https://www.flowserve.com/es/products/energy-recovery->

[devices/isobaric-devices/work-exchanger-technology/isobaric-technology-dweer](#)

- [36] Danfoss, 2014, *Energy recovery just got simple*. Consultada en abril 2021 en <https://www.danfoss.com/es-es/products/hpp/energy-recovery-devices/energy-recovery-devices-for-reverse-osmosis-applications/>
- [37] Peñate Suarez B., J.A. de la Fuente , M. Barreto, *Operation of the RO Kinetic energy recovery system: Description and real experiences*, *Desalination*, 252, 179– 185. (2009) Consultado en Mayo de 2021 en <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0011916409012387>
- [38] ISOBARIX, consultada en mayo 2021 en <http://www.isobarix.com/products>
- [39] SALINO Pressure Center. Consultado En Mayo de 2021 en <https://pdf.directindustry.com/pdf/ksb/salino-pressure-center/7053-471783.html>
- [40] La importancia de los sistemas de recuperación de energía en la desalación de aguas en Canarias. Consultado en mayo Mayo de 2021 en <https://www.iagua.es/blogs/baltasar-penate-suarez/importancia-sistemas-recuperacion-energia-desalacion-aguas-canarias>
- [41] V. Romero-Ternero, L. García-Rodríguez, and C. Gómez-Camacho, “Thermoeconomic analysis of a seawater reverse osmosis plant,” *Desalination*, vol. 181, no. 1–3, pp. 43–59, 2005, doi: 10.1016/j.desal.2005.02.012.
- [42] Fariñas Iglesias M. *Ósmosis Inversa. Fundamentos, tecnología y aplicaciones*. Mc Graw Hill, 1999.
- [43] Riloba Eguren Marcos. *Montaje e instalación de una planta de ósmosis inversa para tratamiento de agua de calderas en una industria plástica*. Trabajo Fin de Máster. Universidad de Cantabria. Marzo 2020.

- [44] Método de limpieza de membranas Lenntech. Delfgauw (Holanda): Lenntech BV. Consultado en abril de 2021 en <https://www.lenntech.es/metodos-de-limpieza-de-membrana.htm>
- [45] Peñate Suárez, B .; García-Rodríguez, L. *Diseño energéticamente eficiente de la tecnología de desalación por ósmosis inversa de agua de mar*. Máster en Sistemas de Energía Térmica. ETSI, Universidad de Sevilla, curso 2019/20.
- [46] The global status of desalination: Joyner Eke, Ahmed Yusuf, Adewale Giwa, Ahmed Sodiq. An assessment of current desalination technologies, plants and capacity. journal homepage: www.elsevier.com/locate/desal
- [47] Sadhwani JJ, Veza JM, *Desalación y consumo energético en Canarias*, Desalación 221 (2008) 143 - 150.
- [48] Estadísticas de la empresa INALSA 2008 - WWW.INALSA.ES, Noviembre de 2009.
- [49] Sr. P. Martín y Sr. JM Bethencourt. Departamento técnico de la empresa INALSA - Comunicación personal, noviembre de 2009.
- [50] Peñate Baltasar, García-Rodríguez Lourdes, *Retrofitting assessment of the Lanzarote IV seawater reverse osmosis desalination plant*. Desalination 266 (2011) 244-255.
- [51] Tabla de Principales fabricantes de membranas de RO industriales. Consultado en Junio de 2021 en <https://www.lenntech.es/products/membrane/lewabrane.htm>
- [52] Water & Process Solutions FILMTEC TM Reverse Osmosis Membranes Technical Manual. (n.d.). tabla de Software
- [53] *Directiva (UE) 2020/2184 del Parlamento Europeo y del Consejo de 16 de diciembre de 2020 relativa a la calidad de las aguas destinadas al consumo*

- humano* (versión refundida). Consultado en septiembre de 2021 en:
<https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=DOUE-L-2020-81947>
- [54] Peñate Baltasar, García-Rodríguez Lourdes, *Retrofitting assessment of the Lanzarote IV seawater reverse osmosis desalination plant*. Desalination 266 (2011) 244-255.
- [55] Hoja técnica de membranas LG SW 440 GR. Consultado en :
<https://www.lgwatersolutions.com/es/product/seawater-ro/LG-SW-440-GR>
- [56] Hoja técnica de membranas LG. Consultado en:
<https://www.lgwatersolutions.com/es/product/seawater-ro/>
- [57] I. Lomax, Experiences of Dow in the field of seawater reverse osmosis, Desalination 224 (2008) 111–118.
- [58] *Bombas de alta presión Energy recovery*. Consultado en Septiembre de 2021 en: <https://energyrecovery.com/water/energy-recovery-pumps/#circulationpumps>
- [59] Bomba de sección anular multietapa MBN-RO. *Bombeo de agua a alta presión para ahorrar energía*. Consultado en Septiembre de 2021 en: <https://www.sulzer.com/es-es/spain/shared/products/mbn-ro-multistage-ring-section-pump>
- [59] iSave 70. Consultado en Agosto en:
<https://store.danfoss.com/es/es/Bombas-de-alta-presi%C3%B3n/Energy-Recovery-Devices/Dispositivos-de-recuperaci%C3%B3n-de-energ%C3%ADa/ISAVE-70/p/180F7040>
- [60] The PX PowerTrain™ line. Consultado en Agosto de 2021 en: <https://energyrecovery.com/resource/px-powertrain/>

-
- [61] Fuente consultada: Doña Lourdes García Rodríguez. Catedrática de Máquinas y Motores Térmicos.

ANEXOS

1. *TABLAS DE RESULTADOS SIMULACIÓN NANO H_2O SITUACION
ACTUAL LANZAROTE IV*



Project Name:
Company Name:
Username:

Water Type: Lanzarote IV
Flux Loss per Year: 5.00 %, 5.00 %
Approved By:

Membrane Age: 3, 3
Safety Factor: 1, 1
Salt Passage Increase: 5.00 %, 5.00 %

Pass 1

System - Pass 1

Permeate Flow: 261.40 m³/h **Average Flux:** 11.31 lmh **Temperature:** 20.00 °C
RO Feed Flow: 602.30 m³/h **Water Source:** Seawater-Well (SDI<3) **Average NDP:** 18.65 bar
Concentrate Flow: 340.90 m³/h **Feed TDS:** 37,218.69 ppm **Specific Energy:** 2.94 kWh/m³
Recovery: 43.40 % **Osmotic Pressure Feed:** 25.54 bar **Feed Pressure:** 68.03 bar
Number Of Elements: 623 **Osmotic Pressure Concentrate:** 45.17 bar **Permeate TDS:** 122.15 ppm
ERD Type: Turbo/Turbine **Pump Efficiency:** 85.00 % **Fouling Factor:** 0.86
Recirculation: 19.80 m³/h (2P Brine to 1P feed)

	# of Vessels	# of Elements	RO Feed Flow	Permeate Flow	Concentrate Flow	RO Feed Pressure	Concentrate Pressure	Vessel Pressure Drop	Boost Pressure	Permeate Back Pressure	Average Flux	Permeate TDS
			m³/h	m³/h	m³/h	bar	bar	bar	bar	bar	lmh	ppm
Stage 1	89	7	602.30	261.11	341.20	68.03	67.10	0.94	0.00	11.10	11.29	122.15

Water Analysis - Pass 1

			Concentrate	Permeate
Species	Raw Water	Adj. Feed	Stage 1	Stage 1
Ammonium	0.31	0.30	0.51	0.01
Sodium	11,679.55	11,314.46	19,938.91	44.20
Potassium	445.41	431.62	760.37	2.02
Magnesium	1,313.54	1,270.69	2,242.40	0.87
Calcium	558.82	540.59	953.99	0.37
Strontium	6.08	5.88	10.38	0.00
Barium	0.00	0.00	0.00	0.00
Fluoride	0.78	0.75	1.33	0.00
Chloride	19,988.36	19,361.62	34,123.10	71.61
Sulfate	4,259.49	4,120.25	7,272.11	1.47
Nitrate	4.08	3.98	6.95	0.11
Carbonate	2.40	2.30	4.06	0.00
Bicarbonate	158.51	153.52	270.44	0.74
Boron	4.68	4.64	7.69	0.71
Bromide	0.00	0.00	0.00	0.00
Silica	5.44	5.27	9.28	0.03
TDS	38,430.33	37,218.69	65,601.52	122.15
pH	7.81	7.81	7.80	6.72

Disclaimer: LG NanoH2O Design is intended to be used by persons having the requisite technical skill, at their own discretion and risk. When using LG NanoH2O Design, it is the user's responsibility to make provisions against fouling, scaling and chemical attacks, to account for piping- and valve pressure losses, feed pump suction pressure and permeate backpressure.

LG NanoH2O shall not be liable for any error or miscalculation in results obtained by using NanoH2O Design.

Because use conditions and applicable laws may differ from one location to another and may change with time, users are responsible for determining whether products are appropriate for their use.

For questions please contact us at: info@lg-nanoh2o.com



Project Name:
Company Name:
Username:

Water Type: Lanzarote IV
Flux Loss per Year: 5.00 %, 5.00 %
Approved By:

Membrane Age: 3, 3
Safety Factor: 1, 1
Salt Passage Increase: 5.00 %, 5.00 %

Within Vessels - Pass 1

Stage	Position	Element Type	RO Feed	Permeate Flow	Flux	Element Recovery	Pressure Drop	Net Driving Pressure	Polarization	Feed Salinity	Permeate Salinity
			m³/h	m³/h	lmh	%	bar			ppm	ppm
1	1	LG SW 400 SR	6.77	0.70	18.92	10.38	0.20	26.52	1.13	37,218.69	56.72
1	2	LG SW 400 SR	6.07	0.59	15.88	9.72	0.17	23.28	1.12	41,521.55	74.41
1	3	LG SW 400 SR	5.48	0.49	13.08	8.87	0.14	20.12	1.10	45,983.12	98.46
1	4	LG SW 400 SR	4.99	0.39	10.60	7.89	0.13	17.16	1.09	50,447.21	130.91
1	5	LG SW 400 SR	4.60	0.32	8.49	6.85	0.11	14.47	1.08	54,754.77	174.25
1	6	LG SW 400 SR	4.28	0.25	6.74	5.84	0.10	12.08	1.06	58,771.15	231.39
1	7	LG SW 400 SR	4.03	0.20	5.33	4.91	0.09	10.03	1.05	62,404.03	305.72

Solubility - Pass 1

	Solubility Calculations	
	Feed	Concentrate
LSI	0.79	1.53
CaSO ₄	41.30 %	85.71 %
SrSO ₄	15.09 %	37.37 %
BaSO ₄	0.00 %	0.00 %
CaF ₂	8.51 %	48.46 %
SiO ₂	4.45 %	7.89 %
Stiff Davis Index	-0.77	-0.04

Warnings - Pass 1

Design Warnings

None

Stability Warnings

LSI greater than 0.

Disclaimer: LG NanoH₂O Design is intended to be used by persons having the requisite technical skill, at their own discretion and risk. When using LG NanoH₂O Design, it is the user's responsibility to make provisions against fouling, scaling and chemical attacks, to account for piping- and valve pressure losses, feed pump suction pressure and permeate backpressure.

LG NanoH₂O shall not be liable for any error or miscalculation in results obtained by using NanoH₂O Design.

Because use conditions and applicable laws may differ from one location to another and may change with time, users are responsible for determining whether products are appropriate for their use.

For questions please contact us at: info@lg-nanoh2o.com



Project Name:
Company Name:
Username:

Water Type: Lanzarote IV
Flux Loss per Year: 5.00 %, 5.00 %
Approved By:

Membrane Age: 3, 3
Safety Factor: 1, 1
Salt Passage Increase: 5.00 %, 5.00 %

Pass 2

System - Pass 2

Permeate Flow: 241.60 m³/h	Average Flux: 22.68 lmh	Temperature: 20.00 °C
RO Feed Flow: 261.40 m³/h	Water Source: RO Permeate	Average NDP: 9.11 bar
Concentrate Flow: 19.80 m³/h	Feed TDS: 122.10 ppm	Specific Energy: 0.39 kWh/m³
Recovery: 92.43 %	Osmotic Pressure Feed: 0.09 bar	Feed Pressure: 10.88 bar
Number Of Elements: 287	Osmotic Pressure Concentrate: 1.24 bar	Permeate TDS: 3.20 ppm
ERD Type: None	Pump Efficiency: 85.00 %	Fouling Factor: 0.86

	# of Vessels	# of Elements	RO Feed Flow	Permeate Flow	Concentrate Flow	RO Feed Pressure	Concentrate Pressure	Vessel Pressure Drop	Boost Pressure	Permeate Back Pressure	Average Flux	Permeate TDS
			m³/h	m³/h	m³/h	bar	bar	bar	bar	bar	lmh	ppm
Stage 1	30	7	261.40	183.64	77.76	10.88	10.13	0.75	0.00	0.70	23.56	2.66
Stage 2	11	7	77.76	58.54	19.22	10.13	9.61	0.51	0.00	0.70	20.48	4.92

Water Analysis - Pass 2

Species	Raw Water	Adj. Feed	Concentrate			Permeate		
			Stage 1	Stage 2	Comp.	Stage 1	Stage 2	Comp.
Ammonium	0.01	0.01	0.02	0.09	0.09	0.00	0.00	0.00
Sodium	44.29	44.17	146.45	587.62	570.83	0.85	1.50	1.01
Potassium	2.02	2.02	6.65	26.64	25.87	0.05	0.09	0.06
Magnesium	0.88	0.87	2.93	11.81	11.47	0.00	0.01	0.01
Calcium	0.37	0.37	1.23	4.97	4.83	0.00	0.00	0.00
Strontium	0.00	0.00	0.01	0.05	0.04	0.00	0.00	0.00
Barium	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fluoride	0.00	0.00	0.01	0.05	0.05	0.00	0.00	0.00
Chloride	71.86	71.66	237.64	953.64	926.40	1.36	2.39	1.61
Sulfate	1.48	1.48	4.95	20.02	19.44	0.00	0.00	0.00
Nitrate	0.11	0.11	0.34	1.31	1.27	0.02	0.03	0.02
Carbonate	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Bicarbonate	0.51	0.51	1.69	6.77	6.58	0.01	0.02	0.01
Boron	0.69	0.71	1.55	3.63	3.55	0.35	0.87	0.48
Bromide	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Silica	0.03	0.03	0.10	0.39	0.37	0.00	0.00	0.00
TDS	122.43	122.10	403.58	1,616.97	1,570.79	2.66	4.92	3.20
pH	6.72	6.72	6.72	6.73	6.73	5.64	5.64	5.64

Disclaimer: LG NanoH2O Design is intended to be used by persons having the requisite technical skill, at their own discretion and risk. When using LG NanoH2O Design, it is the user's responsibility to make provisions against fouling, scaling and chemical attacks, to account for piping- and valve pressure losses, feed pump suction pressure and permeate backpressure.

LG NanoH2O shall not be liable for any error or miscalculation in results obtained by using NanoH2O Design.

Because use conditions and applicable laws may differ from one location to another and may change with time, users are responsible for determining whether products are appropriate for their use.

For questions please contact us at: info@lg-nanoh2o.com



Project Name:
Company Name:
Username:

Water Type: Lanzarote IV
Flux Loss per Year: 5.00 %, 5.00 %
Approved By:

Membrane Age: 3, 3
Safety Factor: 1, 1
Salt Passage Increase: 5.00 %, 5.00 %

Within Vessels - Pass 2

Stage	Position	Element Type	RO Feed	Permeate Flow	Flux	Element Recovery	Pressure Drop	Net Driving Pressure	Polarization	Feed Salinity	Permeate Salinity
			m³/h	m³/h	lmh	%	bar			ppm	ppm
1	1	LG BW 400 R	8.71	0.92	24.75	10.54	0.18	9.97	1.16	122.10	1.76
1	2	LG BW 400 R	7.79	0.90	24.29	11.56	0.15	9.79	1.17	136.29	1.92
1	3	LG BW 400 R	6.89	0.89	23.88	12.86	0.13	9.63	1.19	153.86	2.10
1	4	LG BW 400 R	6.01	0.87	23.52	14.53	0.10	9.49	1.22	176.25	2.30
1	5	LG BW 400 R	5.13	0.86	23.19	16.76	0.08	9.36	1.25	205.82	2.53
1	6	LG BW 400 R	4.27	0.85	22.85	19.84	0.06	9.23	1.30	246.76	2.77
1	7	LG BW 400 R	3.43	0.83	22.46	24.33	0.04	9.08	1.38	307.17	2.98
2	1	LG BW 400 R	7.07	0.82	22.17	11.64	0.13	8.98	1.17	404.98	2.86
2	2	LG BW 400 R	6.25	0.81	21.70	12.89	0.11	8.80	1.19	457.95	2.85
2	3	LG BW 400 R	5.44	0.79	21.23	14.48	0.09	8.62	1.22	525.31	2.72
2	4	LG BW 400 R	4.65	0.77	20.73	16.53	0.07	8.43	1.25	613.81	2.43
2	5	LG BW 400 R	3.88	0.75	20.14	19.24	0.05	8.20	1.29	734.92	3.53
2	6	LG BW 400 R	3.14	0.72	19.33	22.88	0.04	7.90	1.35	909.18	5.49
2	7	LG BW 400 R	2.42	0.67	18.09	27.75	0.02	7.43	1.43	1,177.22	9.52

Solubility - Pass 2

	Solubility Calculations	
	Feed	Concentrate
LSI	-5.46	-3.45
CaSO4	0.00 %	0.02 %
SrSO4	0.00 %	0.01 %
BaSO4	0.00 %	0.00 %
CaF2	0.00 %	0.00 %
SiO2	0.02 %	0.32 %
Stiff Davis Index	-5.82	-3.88

Warnings - Pass 2

Design Warnings

Polarization exceeds recommended maximum of value 1.30 for RO Permeate (SDI<1) Water Type.

Stability Warnings

None

Disclaimer: LG NanoH2O Design is intended to be used by persons having the requisite technical skill, at their own discretion and risk. When using LG NanoH2O Design, it is the user's responsibility to make provisions against fouling, scaling and chemical attacks, to account for piping- and valve pressure losses, feed pump suction pressure and permeate backpressure.

LG NanoH2O shall not be liable for any error or miscalculation in results obtained by using NanoH2O Design.

Because use conditions and applicable laws may differ from one location to another and may change with time, users are responsible for determining whether products are appropriate for their use.

For questions please contact us at: info@lg-nanoh2o.com

Project Name: Company Name: Username:	Water Type: Lanzarote IV Flux Loss per Year: 5.00 %, 5.00 % Approved By:	Membrane Age: 3, 3 Safety Factor: 1, 1 Salt Passage Increase: 5.00 %, 5.00 %
------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------

Pass 1

System - Pass 1

Permeate Flow: 273.90 m³/h RO Feed Flow: 638.46 m³/h Concentrate Flow: 364.56 m³/h Recovery: 42.90 % Number Of Elements: 595 ERD Type: Turbo/Turbine Recirculation: 23.64 m³/h (2P Brine to 1P feed)	Average Flux: 12.40 lmh Water Source: Seawater-Well (SDI<3) Feed TDS: 37,045.08 ppm Osmotic Pressure Feed: 25.42 bar Osmotic Pressure Concentrate: 44.57 bar Pump Efficiency: 85.00 %	Temperature: 20.00 °C Average NDP: 20.26 bar Specific Energy: 3.03 kWh/m³ Feed Pressure: 69.63 bar Permeate TDS: 109.79 ppm Fouling Factor: 0.86
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

	# of Vessels	# of Elements	RO Feed Flow	Permeate Flow	Concentrate Flow	RO Feed Pressure	Concentrate Pressure	Vessel Pressure Drop	Boost Pressure	Permeate Back Pressure	Average Flux	Permeate TDS
			m³/h	m³/h	m³/h	bar	bar	bar	bar	bar	lmh	ppm
Stage 1	85	7	638.46	273.65	364.81	69.63	68.52	1.10	0.00	11.50	12.39	109.79

Water Analysis - Pass 1

			Concentrate	Permeate
Species	Raw Water	Adj. Feed	Stage 1	Stage 1
Ammonium	0.31	0.30	0.50	0.01
Sodium	11,679.55	11,260.83	19,678.56	39.72
Potassium	445.41	429.54	750.41	1.81
Magnesium	1,313.54	1,265.14	2,213.63	0.79
Calcium	558.82	538.23	941.75	0.33
Strontium	6.08	5.86	10.25	0.00
Barium	0.00	0.00	0.00	0.00
Fluoride	0.78	0.75	1.31	0.00
Chloride	19,988.36	19,270.38	33,678.15	64.36
Sulfate	4,259.49	4,102.35	7,178.82	1.33
Nitrate	4.08	3.96	6.85	0.10
Carbonate	2.40	2.28	4.00	0.00
Bicarbonate	158.51	152.81	266.95	0.66
Boron	4.68	4.61	7.62	0.65
Bromide	0.00	0.00	0.00	0.00
Silica	5.44	5.24	9.16	0.03
TDS	38,430.33	37,045.08	64,747.94	109.79
pH	7.81	7.81	7.80	6.72

Disclaimer: LG NanoH2O Design is intended to be used by persons having the requisite technical skill, at their own discretion and risk. When using LG NanoH2O Design, it is the user's responsibility to make provisions against fouling, scaling and chemical attacks, to account for piping- and valve pressure losses, feed pump suction pressure and permeate backpressure.

LG NanoH2O shall not be liable for any error or miscalculation in results obtained by using NanoH2O Design.

Because use conditions and applicable laws may differ from one location to another and may change with time, users are responsible for determining whether products are appropriate for their use.

For questions please contact us at: info@lg-nanoh2o.com



Project Name:
Company Name:
Username:

Water Type: Lanzarote IV
Flux Loss per Year: 5.00 %, 5.00 %
Approved By:

Membrane Age: 3, 3
Safety Factor: 1, 1
Salt Passage Increase: 5.00 %, 5.00 %

Within Vessels - Pass 1

Stage	Position	Element Type	RO Feed	Permeate Flow	Flux	Element Recovery	Pressure Drop	Net Driving Pressure	Polarization	Feed Salinity	Permeate Salinity
			m³/h	m³/h	lmh	%	bar			ppm	ppm
1	1	LG SW 400 SR	7.51	0.74	20.04	9.90	0.23	28.05	1.12	37,045.08	52.93
1	2	LG SW 400 SR	6.77	0.63	17.07	9.36	0.20	24.91	1.11	41,111.32	68.24
1	3	LG SW 400 SR	6.13	0.53	14.29	8.65	0.17	21.82	1.10	45,349.98	88.70
1	4	LG SW 400 SR	5.60	0.44	11.78	7.80	0.15	18.89	1.09	49,633.22	115.92
1	5	LG SW 400 SR	5.17	0.36	9.60	6.89	0.13	16.17	1.08	53,824.13	151.83
1	6	LG SW 400 SR	4.81	0.29	7.75	5.98	0.12	13.72	1.07	57,798.14	198.70
1	7	LG SW 400 SR	4.52	0.23	6.22	5.10	0.11	11.55	1.06	61,459.99	259.17

Solubility - Pass 1

	Solubility Calculations	
	Feed	Concentrate
LSI	0.79	1.51
CaSO ₄	41.09 %	84.25 %
SrSO ₄	15.00 %	36.52 %
BaSO ₄	0.00 %	0.00 %
CaF ₂	8.40 %	46.38 %
SiO ₂	4.43 %	7.78 %
Stiff Davis Index	-0.77	-0.07

Warnings - Pass 1

Design Warnings

None

Stability Warnings

LSI greater than 0.

Disclaimer: LG NanoH₂O Design is intended to be used by persons having the requisite technical skill, at their own discretion and risk. When using LG NanoH₂O Design, it is the user's responsibility to make provisions against fouling, scaling and chemical attacks, to account for piping- and valve pressure losses, feed pump suction pressure and permeate backpressure.

LG NanoH₂O shall not be liable for any error or miscalculation in results obtained by using NanoH₂O Design.

Because use conditions and applicable laws may differ from one location to another and may change with time, users are responsible for determining whether products are appropriate for their use.

For questions please contact us at: info@lg-nanoh2o.com

**Project Name:**
Company Name:
Username:**Water Type:** Lanzarote IV
Flux Loss per Year: 5.00 %, 5.00 %
Approved By:**Membrane Age:** 3, 3
Safety Factor: 1, 1
Salt Passage Increase: 5.00 %, 5.00 %**Pass 2****System - Pass 2**

Permeate Flow: 245.00 m³/h	Average Flux: 24.69 l/mh	Temperature: 20.00 °C
RO Feed Flow: 273.90 m³/h	Water Source: RO Permeate	Average NDP: 10.00 bar
Concentrate Flow: 28.90 m³/h	Feed TDS: 109.75 ppm	Specific Energy: 0.45 kWh/m³
Recovery: 89.45 %	Osmotic Pressure Feed: 0.08 bar	Feed Pressure: 12.06 bar
Number Of Elements: 259	Osmotic Pressure Concentrate: 0.78 bar	Permeate TDS: 2.63 ppm
ERD Type: None	Pump Efficiency: 85.00 %	Fouling Factor: 0.86

	# of Vessels	# of Elements	RO Feed Flow	Permeate Flow	Concentrate Flow	RO Feed Pressure	Concentrate Pressure	Vessel Pressure Drop	Boost Pressure	Permeate Back Pressure	Average Flux	Permeate TDS
			m³/h	m³/h	m³/h	bar	bar	bar	bar	bar	l/mh	ppm
Stage 1	25	7	273.90	169.32	104.58	12.06	10.91	1.15	0.00	0.70	26.07	2.19
Stage 2	12	7	104.58	75.85	28.73	10.91	9.76	1.16	0.00	0.70	22.12	3.63

Water Analysis - Pass 2

Species	Raw Water	Adj. Feed	Concentrate			Permeate		
			Stage 1	Stage 2	Comp.	Stage 1	Stage 2	Comp.
Ammonium	0.01	0.01	0.02	0.06	0.06	0.00	0.00	0.00
Sodium	39.79	39.70	102.82	371.22	369.20	0.71	1.10	0.83
Potassium	1.82	1.81	4.68	16.84	16.75	0.04	0.07	0.05
Magnesium	0.79	0.79	2.05	7.45	7.41	0.00	0.01	0.00
Calcium	0.33	0.33	0.86	3.14	3.12	0.00	0.00	0.00
Strontium	0.00	0.00	0.01	0.03	0.03	0.00	0.00	0.00
Barium	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fluoride	0.00	0.00	0.01	0.03	0.03	0.00	0.00	0.00
Chloride	64.55	64.40	166.84	602.42	599.15	1.13	1.76	1.32
Sulfate	1.33	1.33	3.47	12.62	12.55	0.00	0.00	0.00
Nitrate	0.10	0.10	0.25	0.84	0.83	0.01	0.02	0.02
Carbonate	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Bicarbonate	0.46	0.46	1.19	4.28	4.25	0.01	0.02	0.01
Boron	0.64	0.65	1.24	2.79	2.78	0.28	0.66	0.40
Bromide	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Silica	0.03	0.03	0.07	0.24	0.24	0.00	0.00	0.00
TDS	109.98	109.75	283.50	1,021.95	1,016.40	2.19	3.63	2.63
pH	6.72	6.72	6.72	6.72	6.72	5.64	5.64	5.64

Disclaimer: LG NanoH2O Design is intended to be used by persons having the requisite technical skill, at their own discretion and risk. When using LG NanoH2O Design, it is the user's responsibility to make provisions against fouling, scaling and chemical attacks, to account for piping- and valve pressure losses, feed pump suction pressure and permeate backpressure.

LG NanoH2O shall not be liable for any error or miscalculation in results obtained by using NanoH2O Design.

Because use conditions and applicable laws may differ from one location to another and may change with time, users are responsible for determining whether products are appropriate for their use.

For questions please contact us at: info@lg-nanoh2o.com



Project Name:
Company Name:
Username:

Water Type: Lanzarote IV
Flux Loss per Year: 5.00 %, 5.00 %
Approved By:

Membrane Age: 3, 3
Safety Factor: 1, 1
Salt Passage Increase: 5.00 %, 5.00 %

Within Vessels - Pass 2

Stage	Position	Element Type	RO Feed	Permeate Flow	Flux	Element Recovery	Pressure Drop	Net Driving Pressure	Polarization	Feed Salinity	Permeate Salinity
			m³/h	m³/h	lmh	%	bar			ppm	ppm
1	1	LG BW 400 R	10.96	1.03	27.64	9.36	0.26	11.13	1.14	109.75	1.47
1	2	LG BW 400 R	9.93	1.00	27.00	10.09	0.23	10.88	1.15	120.93	1.60
1	3	LG BW 400 R	8.93	0.98	26.44	10.99	0.19	10.66	1.17	134.33	1.74
1	4	LG BW 400 R	7.95	0.96	25.96	12.12	0.16	10.46	1.18	150.70	1.90
1	5	LG BW 400 R	6.98	0.95	25.53	13.57	0.13	10.29	1.21	171.22	2.08
1	6	LG BW 400 R	6.04	0.93	25.15	15.46	0.10	10.15	1.24	197.77	2.27
1	7	LG BW 400 R	5.10	0.92	24.78	18.02	0.08	10.01	1.28	233.52	2.49
2	1	LG BW 440 R	8.71	0.99	24.15	11.31	0.28	9.82	1.13	284.32	2.65
2	2	LG BW 440 R	7.73	0.96	23.40	12.36	0.24	9.52	1.14	320.25	2.81
2	3	LG BW 440 R	6.77	0.93	22.73	13.70	0.20	9.25	1.15	365.01	2.94
2	4	LG BW 440 R	5.85	0.90	22.11	15.44	0.16	9.01	1.17	422.48	3.00
2	5	LG BW 440 R	4.94	0.88	21.51	17.77	0.12	8.78	1.20	499.09	2.90
2	6	LG BW 440 R	4.07	0.85	20.87	20.96	0.09	8.53	1.23	606.29	2.55
2	7	LG BW 440 R	3.21	0.82	20.06	25.48	0.07	8.23	1.29	766.34	4.18

Solubility - Pass 2

	Solubility Calculations	
	Feed	Concentrate
LSI	-5.55	-3.78
CaSO4	0.00 %	0.01 %
SrSO4	0.00 %	0.01 %
BaSO4	0.00 %	0.00 %
CaF2	0.00 %	0.00 %
SiO2	0.02 %	0.20 %
Stiff Davis Index	-5.90	-4.18

Warnings - Pass 2

Design Warnings

None

Stability Warnings

None

Disclaimer: LG NanoH2O Design is intended to be used by persons having the requisite technical skill, at their own discretion and risk. When using LG NanoH2O Design, it is the user's responsibility to make provisions against fouling, scaling and chemical attacks, to account for piping- and valve pressure losses, feed pump suction pressure and permeate backpressure.

LG NanoH2O shall not be liable for any error or miscalculation in results obtained by using NanoH2O Design.

Because use conditions and applicable laws may differ from one location to another and may change with time, users are responsible for determining whether products are appropriate for their use.

For questions please contact us at: info@lg-nanoh2o.com

Project Name: Company Name: Username:	Water Type: Lanzarote IV Flux Loss per Year: 5.00 %, 5.00 % Approved By:	Membrane Age: 3, 3 Safety Factor: 1, 1 Salt Passage Increase: 5.00 %, 5.00 %
------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------

Pass 1

System - Pass 1

Permeate Flow: 262.20 m³/h RO Feed Flow: 609.77 m³/h Concentrate Flow: 347.57 m³/h Recovery: 43.00 % Number Of Elements: 623 ERD Type: Turbo/Turbine Recirculation: 23.85 m³/h (2P Brine to 1P feed)	Average Flux: 11.34 lmh Water Source: Seawater-Well (SDI<3) Feed TDS: 36,977.44 ppm Osmotic Pressure Feed: 25.37 bar Osmotic Pressure Concentrate: 44.59 bar Pump Efficiency: 85.00 %	Temperature: 20.00 °C Average NDP: 18.59 bar Specific Energy: 2.94 kWh/m³ Feed Pressure: 67.76 bar Permeate TDS: 120.23 ppm Fouling Factor: 0.86
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

	# of Vessels	# of Elements	RO Feed Flow	Permeate Flow	Concentrate Flow	RO Feed Pressure	Concentrate Pressure	Vessel Pressure Drop	Boost Pressure	Permeate Back Pressure	Average Flux	Permeate TDS
			m³/h	m³/h	m³/h	bar	bar	bar	bar	bar	lmh	ppm
Stage 1	89	7	609.77	262.10	347.66	67.76	66.80	0.96	0.00	11.30	11.34	120.23

Water Analysis - Pass 1

			Concentrate	Permeate
Species	Raw Water	Adj. Feed	Stage 1	Stage 1
Ammonium	0.31	0.30	0.50	0.01
Sodium	11,679.55	11,241.04	19,682.72	43.50
Potassium	445.41	428.82	750.60	1.99
Magnesium	1,313.54	1,262.48	2,213.60	0.86
Calcium	558.82	537.10	941.74	0.36
Strontium	6.08	5.85	10.25	0.00
Barium	0.00	0.00	0.00	0.00
Fluoride	0.78	0.75	1.31	0.00
Chloride	19,988.36	19,236.03	33,684.69	70.49
Sulfate	4,259.49	4,093.65	7,178.71	1.45
Nitrate	4.08	3.96	6.86	0.11
Carbonate	2.40	2.28	3.99	0.00
Bicarbonate	158.51	152.53	266.98	0.73
Boron	4.68	4.63	7.62	0.70
Bromide	0.00	0.00	0.00	0.00
Silica	5.44	5.24	9.16	0.03
TDS	38,430.33	36,977.44	64,758.73	120.23
pH	7.81	7.81	7.80	6.72

Disclaimer: LG NanoH2O Design is intended to be used by persons having the requisite technical skill, at their own discretion and risk. When using LG NanoH2O Design, it is the user's responsibility to make provisions against fouling, scaling and chemical attacks, to account for piping- and valve pressure losses, feed pump suction pressure and permeate backpressure. LG NanoH2O shall not be liable for any error or miscalculation in results obtained by using NanoH2O Design. Because use conditions and applicable laws may differ from one location to another and may change with time, users are responsible for determining whether products are appropriate for their use.

For questions please contact us at: info@lg-nanoh2o.com



Project Name:
Company Name:
Username:

Water Type: Lanzarote IV
Flux Loss per Year: 5.00 %, 5.00 %
Approved By:

Membrane Age: 3, 3
Safety Factor: 1, 1
Salt Passage Increase: 5.00 %, 5.00 %

Within Vessels - Pass 1

Stage	Position	Element Type	RO Feed	Permeate Flow	Flux	Element Recovery	Pressure Drop	Net Driving Pressure	Polarization	Feed Salinity	Permeate Salinity
			m³/h	m³/h	lmh	%	bar			ppm	ppm
1	1	LG SW 400 SR	6.85	0.70	18.83	10.20	0.20	26.33	1.12	36,977.44	56.46
1	2	LG SW 400 SR	6.15	0.59	15.86	9.57	0.17	23.16	1.11	41,171.44	73.71
1	3	LG SW 400 SR	5.56	0.49	13.12	8.75	0.15	20.07	1.10	45,519.29	97.04
1	4	LG SW 400 SR	5.08	0.40	10.68	7.80	0.13	17.16	1.09	49,874.10	128.38
1	5	LG SW 400 SR	4.68	0.32	8.59	6.81	0.11	14.51	1.08	54,085.33	170.08
1	6	LG SW 400 SR	4.36	0.25	6.85	5.83	0.10	12.16	1.06	58,023.88	224.90
1	7	LG SW 400 SR	4.11	0.20	5.43	4.91	0.09	10.11	1.05	61,599.20	296.02

Solubility - Pass 1

	Solubility Calculations	
	Feed	Concentrate
LSI	0.79	1.51
CaSO ₄	40.97 %	84.20 %
SrSO ₄	14.95 %	36.49 %
BaSO ₄	0.00 %	0.00 %
CaF ₂	8.35 %	46.35 %
SiO ₂	4.42 %	7.78 %
Stiff Davis Index	-0.77	-0.07

Warnings - Pass 1

Design Warnings

None

Stability Warnings

LSI greater than 0.

Disclaimer: LG NanoH₂O Design is intended to be used by persons having the requisite technical skill, at their own discretion and risk. When using LG NanoH₂O Design, it is the user's responsibility to make provisions against fouling, scaling and chemical attacks, to account for piping- and valve pressure losses, feed pump suction pressure and permeate backpressure.

LG NanoH₂O shall not be liable for any error or miscalculation in results obtained by using NanoH₂O Design.

Because use conditions and applicable laws may differ from one location to another and may change with time, users are responsible for determining whether products are appropriate for their use.

For questions please contact us at: info@lg-nanoh2o.com



Project Name:
Company Name:
Username:

Water Type: Lanzarote IV
Flux Loss per Year: 5.00 %, 5.00 %
Approved By:

Membrane Age: 3, 3
Safety Factor: 1, 1
Salt Passage Increase: 5.00 %, 5.00 %

Pass 2

System - Pass 2

Permeate Flow: 238.20 m³/h	Average Flux: 24.13 lmh	Temperature: 20.00 °C
RO Feed Flow: 262.20 m³/h	Water Source: RO Permeate	Average NDP: 9.85 bar
Concentrate Flow: 24.00 m³/h	Feed TDS: 120.19 ppm	Specific Energy: 0.43 kWh/m³
Recovery: 90.85 %	Osmotic Pressure Feed: 0.09 bar	Feed Pressure: 11.77 bar
Number Of Elements: 266	Osmotic Pressure Concentrate: 0.98 bar	Permeate TDS: 2.88 ppm
ERD Type: None	Pump Efficiency: 85.00 %	Fouling Factor: 0.86

	# of Vessels	# of Elements	RO Feed Flow	Permeate Flow	Concentrate Flow	RO Feed Pressure	Concentrate Pressure	Vessel Pressure Drop	Boost Pressure	Permeate Back Pressure	Average Flux	Permeate TDS
			m³/h	m³/h	m³/h	bar	bar	bar	bar	bar	lmh	ppm
Stage 1	24	7	262.20	157.81	104.39	11.77	10.61	1.16	0.00	0.70	25.31	2.33
Stage 2	14	7	104.39	80.41	23.98	10.61	10.06	0.55	0.00	0.70	22.11	3.97

Water Analysis - Pass 2

Species	Raw Water	Adj. Feed	Concentrate			Permeate		
			Stage 1	Stage 2	Comp.	Stage 1	Stage 2	Comp.
Ammonium	0.01	0.01	0.02	0.07	0.07	0.00	0.00	0.00
Sodium	43.59	43.47	108.06	466.21	466.01	0.75	1.20	0.90
Potassium	1.99	1.98	4.92	21.15	21.14	0.05	0.07	0.05
Magnesium	0.86	0.86	2.15	9.35	9.35	0.00	0.01	0.00
Calcium	0.36	0.36	0.91	3.94	3.94	0.00	0.00	0.00
Strontium	0.00	0.00	0.01	0.04	0.04	0.00	0.00	0.00
Barium	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fluoride	0.00	0.00	0.01	0.04	0.04	0.00	0.00	0.00
Chloride	70.72	70.53	175.34	756.58	756.26	1.20	1.92	1.44
Sulfate	1.46	1.45	3.64	15.85	15.84	0.00	0.00	0.00
Nitrate	0.11	0.11	0.26	1.06	1.05	0.01	0.02	0.02
Carbonate	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Bicarbonate	0.50	0.50	1.25	5.37	5.37	0.01	0.02	0.01
Boron	0.68	0.70	1.30	3.25	3.26	0.30	0.72	0.44
Bromide	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Silica	0.03	0.03	0.07	0.31	0.31	0.00	0.00	0.00
TDS	120.50	120.19	297.93	1,283.22	1,282.67	2.33	3.97	2.88
pH	6.72	6.72	6.72	6.73	6.73	5.64	5.64	5.64

Disclaimer: LG NanoH2O Design is intended to be used by persons having the requisite technical skill, at their own discretion and risk. When using LG NanoH2O Design, it is the user's responsibility to make provisions against fouling, scaling and chemical attacks, to account for piping- and valve pressure losses, feed pump suction pressure and permeate backpressure.

LG NanoH2O shall not be liable for any error or miscalculation in results obtained by using NanoH2O Design.

Because use conditions and applicable laws may differ from one location to another and may change with time, users are responsible for determining whether products are appropriate for their use.

For questions please contact us at: info@lg-nanoh2o.com



Project Name:
Company Name:
Username:

Water Type: Lanzarote IV
Flux Loss per Year: 5.00 %, 5.00 %
Approved By:

Membrane Age: 3, 3
Safety Factor: 1, 1
Salt Passage Increase: 5.00 %, 5.00 %

Within Vessels - Pass 2

Stage	Position	Element Type	RO Feed	Permeate Flow	Flux	Element Recovery	Pressure Drop	Net Driving Pressure	Polarization	Feed Salinity	Permeate Salinity
			m³/h	m³/h	lmh	%	bar			ppm	ppm
1	1	LG BW 400 R	10.93	1.00	26.89	9.13	0.26	10.83	1.14	120.19	1.58
1	2	LG BW 400 R	9.93	0.97	26.25	9.81	0.22	10.58	1.15	132.11	1.72
1	3	LG BW 400 R	8.95	0.95	25.69	10.65	0.19	10.36	1.16	146.30	1.86
1	4	LG BW 400 R	8.00	0.94	25.20	11.69	0.16	10.16	1.18	163.51	2.02
1	5	LG BW 400 R	7.06	0.92	24.77	13.01	0.13	9.99	1.20	184.89	2.20
1	6	LG BW 400 R	6.15	0.90	24.38	14.72	0.11	9.84	1.22	212.21	2.39
1	7	LG BW 400 R	5.24	0.89	24.01	17.00	0.08	9.70	1.26	248.43	2.59
2	1	LG BW 400 R	7.46	0.88	23.65	11.77	0.14	9.56	1.18	298.79	2.64
2	2	LG BW 400 R	6.58	0.86	23.19	13.08	0.12	9.38	1.20	338.30	2.75
2	3	LG BW 400 R	5.72	0.84	22.76	14.77	0.10	9.21	1.22	388.81	2.81
2	4	LG BW 400 R	4.87	0.83	22.31	16.99	0.07	9.04	1.26	455.70	2.76
2	5	LG BW 400 R	4.05	0.81	21.79	19.99	0.06	8.85	1.31	548.40	2.44
2	6	LG BW 400 R	3.24	0.78	21.10	24.19	0.04	8.59	1.38	684.80	3.46
2	7	LG BW 400 R	2.45	0.74	19.97	30.21	0.03	8.16	1.49	902.18	6.38

Solubility - Pass 2

	Solubility Calculations	
	Feed	Concentrate
LSI	-5.47	-3.60
CaSO4	0.00 %	0.01 %
SrSO4	0.00 %	0.01 %
BaSO4	0.00 %	0.00 %
CaF2	0.00 %	0.00 %
SiO2	0.02 %	0.26 %
Stiff Davis Index	-5.83	-4.02

Warnings - Pass 2

Design Warnings

Recovery exceeds recommended maximum of value 30 % for RO Permeate (SDI<1) Water Type.

Polarization exceeds recommended maximum of value 1.30 for RO Permeate (SDI<1) Water Type.

Stability Warnings

None

Disclaimer: LG NanoH2O Design is intended to be used by persons having the requisite technical skill, at their own discretion and risk. When using LG NanoH2O Design, it is the user's responsibility to make provisions against fouling, scaling and chemical attacks, to account for piping- and valve pressure losses, feed pump suction pressure and permeate backpressure.

LG NanoH2O shall not be liable for any error or miscalculation in results obtained by using NanoH2O Design.

Because use conditions and applicable laws may differ from one location to another and may change with time, users are responsible for determining whether products are appropriate for their use.

For questions please contact us at: info@lg-nanoh2o.com



Project Name:
Company Name:
Username:

Water Type: Lanzarote IV
Flux Loss per Year: 5.00 %, 5.00 %
Approved By:

Membrane Age: 3, 3
Safety Factor: 1, 1
Salt Passage Increase: 5.00 %, 5.00 %

Pass 1

System - Pass 1

Permeate Flow: 254.00 m³/h	Average Flux: 11.78 lmh	Temperature: 20.00 °C
RO Feed Flow: 597.65 m³/h	Water Source: Seawater-Well (SDI<3)	Average NDP: 19.16 bar
Concentrate Flow: 343.65 m³/h	Feed TDS: 36,805.87 ppm	Specific Energy: 2.92 kWh/m³
Recovery: 42.50 %	Osmotic Pressure Feed: 25.25 bar	Feed Pressure: 67.81 bar
Number Of Elements: 581	Osmotic Pressure Concentrate: 44.00 bar	Permeate TDS: 114.30 ppm
ERD Type: Turbo/Turbine	Pump Efficiency: 85.00 %	Fouling Factor: 0.86
Recirculation: 26.00 m³/h (2P Brine to 1P feed)		

	# of Vessels	# of Elements	RO Feed Flow	Permeate Flow	Concentrate Flow	RO Feed Pressure	Concentrate Pressure	Vessel Pressure Drop	Boost Pressure	Permeate Back Pressure	Average Flux	Permeate TDS
			m³/h	m³/h	m³/h	bar	bar	bar	bar	bar	lmh	ppm
Stage 1	83	7	597.65	253.85	343.80	67.81	66.77	1.04	0.00	11.20	11.77	114.30

Water Analysis - Pass 1

			Concentrate	Permeate
Species	Raw Water	Adj. Feed	Stage 1	Stage 1
Ammonium	0.31	0.30	0.50	0.01
Sodium	11,679.55	11,188.72	19,419.99	41.36
Potassium	445.41	426.82	740.59	1.89
Magnesium	1,313.54	1,256.70	2,184.05	0.82
Calcium	558.82	534.64	929.16	0.34
Strontium	6.08	5.82	10.11	0.00
Barium	0.00	0.00	0.00	0.00
Fluoride	0.78	0.74	1.29	0.00
Chloride	19,988.36	19,146.61	33,235.08	67.00
Sulfate	4,259.49	4,074.91	7,082.82	1.38
Nitrate	4.08	3.94	6.77	0.11
Carbonate	2.40	2.26	3.93	0.00
Bicarbonate	158.51	151.83	263.43	0.69
Boron	4.68	4.60	7.53	0.67
Bromide	0.00	0.00	0.00	0.00
Silica	5.44	5.21	9.04	0.03
TDS	38,430.33	36,805.87	63,894.28	114.30
pH	7.81	7.81	7.80	6.72

Disclaimer: LG NanoH2O Design is intended to be used by persons having the requisite technical skill, at their own discretion and risk. When using LG NanoH2O Design, it is the user's responsibility to make provisions against fouling, scaling and chemical attacks, to account for piping- and valve pressure losses, feed pump suction pressure and permeate backpressure.

LG NanoH2O shall not be liable for any error or miscalculation in results obtained by using NanoH2O Design.

Because use conditions and applicable laws may differ from one location to another and may change with time, users are responsible for determining whether products are appropriate for their use.

For questions please contact us at: info@lg-nanoh2o.com



Project Name:
Company Name:
Username:

Water Type: Lanzarote IV
Flux Loss per Year: 5.00 %, 5.00 %
Approved By:

Membrane Age: 3, 3
Safety Factor: 1, 1
Salt Passage Increase: 5.00 %, 5.00 %

Within Vessels - Pass 1

Stage	Position	Element Type	RO Feed	Permeate Flow	Flux	Element Recovery	Pressure Drop	Net Driving Pressure	Polarization	Feed Salinity	Permeate Salinity
			m³/h	m³/h	lmh	%	bar			ppm	ppm
1	1	LG SW 400 SR	7.20	0.71	19.17	9.88	0.21	26.76	1.12	36,805.87	54.93
1	2	LG SW 400 SR	6.49	0.60	16.28	9.31	0.18	23.68	1.11	40,835.90	70.97
1	3	LG SW 400 SR	5.88	0.50	13.58	8.57	0.16	20.67	1.10	45,020.29	92.46
1	4	LG SW 400 SR	5.38	0.41	11.16	7.70	0.14	17.81	1.09	49,229.04	121.06
1	5	LG SW 400 SR	4.97	0.34	9.07	6.78	0.12	15.18	1.08	53,325.91	158.82
1	6	LG SW 400 SR	4.63	0.27	7.30	5.85	0.11	12.82	1.06	57,189.91	208.14
1	7	LG SW 400 SR	4.36	0.22	5.85	4.98	0.10	10.75	1.05	60,731.28	271.79

Solubility - Pass 1

	Solubility Calculations	
	Feed	Concentrate
LSI	0.78	1.49
CaSO ₄	40.74 %	82.73 %
SrSO ₄	14.85 %	35.64 %
BaSO ₄	0.00 %	0.00 %
CaF ₂	8.24 %	44.36 %
SiO ₂	4.40 %	7.68 %
Stiff Davis Index	-0.78	-0.09

Warnings - Pass 1

Design Warnings

None

Stability Warnings

LSI greater than 0.

Disclaimer: LG NanoH₂O Design is intended to be used by persons having the requisite technical skill, at their own discretion and risk. When using LG NanoH₂O Design, it is the user's responsibility to make provisions against fouling, scaling and chemical attacks, to account for piping- and valve pressure losses, feed pump suction pressure and permeate backpressure.

LG NanoH₂O shall not be liable for any error or miscalculation in results obtained by using NanoH₂O Design.

Because use conditions and applicable laws may differ from one location to another and may change with time, users are responsible for determining whether products are appropriate for their use.

For questions please contact us at: info@lg-nanoh2o.com



Project Name:
Company Name:
Username:

Water Type: Lanzarote IV
Flux Loss per Year: 5.00 %, 5.00 %
Approved By:

Membrane Age: 3, 3
Safety Factor: 1, 1
Salt Passage Increase: 5.00 %, 5.00 %

Pass 2

System - Pass 2

Permeate Flow: 228.00 m³/h	Average Flux: 21.41 lmh	Temperature: 20.00 °C
RO Feed Flow: 254.00 m³/h	Water Source: RO Permeate	Average NDP: 8.55 bar
Concentrate Flow: 26.00 m³/h	Feed TDS: 114.26 ppm	Specific Energy: 0.38 kWh/m³
Recovery: 89.76 %	Osmotic Pressure Feed: 0.09 bar	Feed Pressure: 10.27 bar
Number Of Elements: 287	Osmotic Pressure Concentrate: 0.84 bar	Permeate TDS: 3.03 ppm
ERD Type: None	Pump Efficiency: 85.00 %	Fouling Factor: 0.86

	# of Vessels	# of Elements	RO Feed Flow	Permeate Flow	Concentrate Flow	RO Feed Pressure	Concentrate Pressure	Vessel Pressure Drop	Boost Pressure	Permeate Back Pressure	Average Flux	Permeate TDS
			m³/h	m³/h	m³/h	bar	bar	bar	bar	bar	lmh	ppm
Stage 1	30	7	254.00	172.69	81.31	10.27	9.54	0.73	0.00	0.70	22.16	2.70
Stage 2	11	7	81.31	55.66	25.66	9.54	8.95	0.59	0.00	0.70	19.48	4.08

Water Analysis - Pass 2

Species	Raw Water	Adj. Feed	Concentrate			Permeate		
			Stage 1	Stage 2	Comp.	Stage 1	Stage 2	Comp.
Ammonium	0.01	0.01	0.02	0.06	0.06	0.00	0.00	0.00
Sodium	41.44	41.33	127.24	400.75	395.33	0.87	1.24	0.96
Potassium	1.89	1.89	5.78	18.17	17.92	0.05	0.07	0.06
Magnesium	0.82	0.82	2.54	8.05	7.94	0.00	0.01	0.00
Calcium	0.35	0.34	1.07	3.39	3.35	0.00	0.00	0.00
Strontium	0.00	0.00	0.01	0.03	0.03	0.00	0.00	0.00
Barium	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fluoride	0.00	0.00	0.01	0.03	0.03	0.00	0.00	0.00
Chloride	67.24	67.05	206.47	650.37	641.57	1.40	1.97	1.53
Sulfate	1.39	1.38	4.31	13.65	13.46	0.00	0.00	0.00
Nitrate	0.11	0.11	0.30	0.90	0.88	0.02	0.02	0.02
Carbonate	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Bicarbonate	0.48	0.48	1.47	4.62	4.55	0.01	0.02	0.01
Boron	0.66	0.67	1.39	2.79	2.76	0.34	0.74	0.43
Bromide	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Silica	0.03	0.03	0.08	0.26	0.26	0.00	0.00	0.00
TDS	114.57	114.26	350.69	1,103.06	1,088.15	2.70	4.08	3.03
pH	6.72	6.72	6.72	6.73	6.73	5.64	5.64	5.64

Disclaimer: LG NanoH2O Design is intended to be used by persons having the requisite technical skill, at their own discretion and risk. When using LG NanoH2O Design, it is the user's responsibility to make provisions against fouling, scaling and chemical attacks, to account for piping- and valve pressure losses, feed pump suction pressure and permeate backpressure.

LG NanoH2O shall not be liable for any error or miscalculation in results obtained by using NanoH2O Design.

Because use conditions and applicable laws may differ from one location to another and may change with time, users are responsible for determining whether products are appropriate for their use.

For questions please contact us at: info@lg-nanoh2o.com



Project Name:
Company Name:
Username:

Water Type: Lanzarote IV
Flux Loss per Year: 5.00 %, 5.00 %
Approved By:

Membrane Age: 3, 3
Safety Factor: 1, 1
Salt Passage Increase: 5.00 %, 5.00 %

Within Vessels - Pass 2

Stage	Position	Element Type	RO Feed	Permeate Flow	Flux	Element Recovery	Pressure Drop	Net Driving Pressure	Polarization	Feed Salinity	Permeate Salinity
			m³/h	m³/h	lmh	%	bar			ppm	ppm
1	1	LG BW 400 R	8.47	0.86	23.28	10.20	0.18	9.38	1.15	114.26	1.80
1	2	LG BW 400 R	7.60	0.85	22.84	11.15	0.15	9.20	1.17	127.04	1.96
1	3	LG BW 400 R	6.76	0.83	22.45	12.33	0.12	9.05	1.18	142.73	2.14
1	4	LG BW 400 R	5.92	0.82	22.11	13.85	0.10	8.91	1.21	162.51	2.34
1	5	LG BW 400 R	5.10	0.81	21.79	15.85	0.08	8.79	1.24	188.27	2.58
1	6	LG BW 400 R	4.29	0.80	21.49	18.58	0.06	8.67	1.28	223.26	2.84
1	7	LG BW 400 R	3.50	0.78	21.15	22.46	0.04	8.54	1.35	273.55	3.10
2	1	LG BW 400 R	7.39	0.77	20.87	10.48	0.14	8.44	1.15	351.86	3.03
2	2	LG BW 400 R	6.62	0.76	20.42	11.45	0.12	8.27	1.17	392.68	3.11
2	3	LG BW 400 R	5.86	0.74	19.99	12.66	0.10	8.10	1.19	443.06	3.12
2	4	LG BW 400 R	5.12	0.73	19.56	14.19	0.08	7.94	1.21	506.84	3.02
2	5	LG BW 400 R	4.39	0.71	19.10	16.14	0.06	7.76	1.24	590.12	2.45
2	6	LG BW 400 R	3.68	0.69	18.56	18.70	0.05	7.56	1.28	703.23	3.52
2	7	LG BW 400 R	2.99	0.66	17.84	22.11	0.03	7.28	1.33	864.17	5.41

Solubility - Pass 2

	Solubility Calculations	
	Feed	Concentrate
LSI	-5.52	-3.72
CaSO4	0.00 %	0.01 %
SrSO4	0.00 %	0.01 %
BaSO4	0.00 %	0.00 %
CaF2	0.00 %	0.00 %
SiO2	0.02 %	0.22 %
Stiff Davis Index	-5.87	-4.13

Warnings - Pass 2

Design Warnings

Polarization exceeds recommended maximum of value 1.30 for RO Permeate (SDI<1) Water Type.

Stability Warnings

None

Disclaimer: LG NanoH2O Design is intended to be used by persons having the requisite technical skill, at their own discretion and risk. When using LG NanoH2O Design, it is the user's responsibility to make provisions against fouling, scaling and chemical attacks, to account for piping- and valve pressure losses, feed pump suction pressure and permeate backpressure.

LG NanoH2O shall not be liable for any error or miscalculation in results obtained by using NanoH2O Design.

Because use conditions and applicable laws may differ from one location to another and may change with time, users are responsible for determining whether products are appropriate for their use.

For questions please contact us at: info@lg-nanoh2o.com

Project Name:
Company Name:
Username:

Water Type: Lanzarote IV
Flux Loss per Year: 5.00 %
Approved By:

Membrane Age: 3
Safety Factor: 1
Salt Passage Increase: 5.00 %

Pass 1

System - Pass 1

Permeate Flow: 264.50 m³/h	Average Flux: 12.73 lmh	Temperature: 20.00 °C
RO Feed Flow: 587.78 m³/h	Water Source: Seawater-Well (SDI<3)	Average NDP: 21.54 bar
Concentrate Flow: 323.28 m³/h	Feed TDS: 38,430.33 ppm	Specific Energy: 2.64 kWh/m³
Recovery: 45.00 %	Osmotic Pressure Feed: 26.37 bar	Feed Pressure: 62.46 bar
Number Of Elements: 560	Osmotic Pressure Concentrate: 47.83 bar	Permeate TDS: 114.46 ppm
ERD Type: Turbo/Turbine	Pump Efficiency: 85.00 %	Fouling Factor: 0.86

	# of Vessels	# of Elements	RO Feed Flow	Permeate Flow	Concentrate Flow	RO Feed Pressure	Concentrate Pressure	Vessel Pressure Drop	Boost Pressure	Permeate Back Pressure	Average Flux	Permeate TDS
			m³/h	m³/h	m³/h	bar	bar	bar	bar	bar	lmh	ppm
Stage 1	80	7	587.78	264.21	323.57	62.46	61.42	1.04	0.00	0.60	12.71	114.46

Water Analysis - Pass 1

			Concentrate	Permeate
Species	Raw Water	Adj. Feed	Stage 1	Stage 1
Ammonium	0.31	0.31	0.54	0.01
Sodium	11,679.55	11,679.55	21,182.91	41.42
Potassium	445.41	445.41	807.57	1.89
Magnesium	1,313.54	1,313.54	2,385.46	0.82
Calcium	558.82	558.82	1,014.85	0.35
Strontium	6.08	6.08	11.05	0.00
Barium	0.00	0.00	0.00	0.00
Fluoride	0.78	0.78	1.41	0.00
Chloride	19,988.36	19,988.36	36,255.49	67.11
Sulfate	4,259.49	4,259.49	7,736.54	1.38
Nitrate	4.08	4.08	7.32	0.11
Carbonate	2.40	2.40	4.37	0.00
Bicarbonate	158.51	158.51	287.38	0.69
Boron	4.68	4.68	8.00	0.66
Bromide	0.00	0.00	0.00	0.00
Silica	5.44	5.44	9.85	0.03
TDS	38,430.33	38,430.33	69,712.73	114.46
pH	7.81	7.81	7.80	6.72

Disclaimer: LG NanoH2O Design is intended to be used by persons having the requisite technical skill, at their own discretion and risk. When using LG NanoH2O Design, it is the user's responsibility to make provisions against fouling, scaling and chemical attacks, to account for piping- and valve pressure losses, feed pump suction pressure and permeate backpressure.

LG NanoH2O shall not be liable for any error or miscalculation in results obtained by using NanoH2O Design.

Because use conditions and applicable laws may differ from one location to another and may change with time, users are responsible for determining whether products are appropriate for their use.

For questions please contact us at: info@lg-nanoh2o.com



Project Name:
Company Name:
Username:

Water Type: Lanzarote IV
Flux Loss per Year: 5.00 %
Approved By:

Membrane Age: 3
Safety Factor: 1
Salt Passage Increase: 5.00 %

Within Vessels - Pass 1

Stage	Position	Element Type	RO Feed	Permeate Flow	Flux	Element Recovery	Pressure Drop	Net Driving Pressure	Polarization	Feed Salinity	Permeate Salinity
			m³/h	m³/h	lmh	%	bar			ppm	ppm
1	1	LG SW 400 SR	7.35	0.79	21.29	10.75	0.22	30.21	1.13	38,430.33	52.47
1	2	LG SW 400 SR	6.56	0.66	17.89	10.13	0.19	26.65	1.12	43,053.76	69.05
1	3	LG SW 400 SR	5.89	0.55	14.74	9.29	0.16	23.17	1.11	47,896.82	91.73
1	4	LG SW 400 SR	5.35	0.44	11.95	8.29	0.14	19.88	1.10	52,789.99	122.52
1	5	LG SW 400 SR	4.90	0.35	9.56	7.23	0.12	16.86	1.08	57,553.29	163.86
1	6	LG SW 400 SR	4.55	0.28	7.58	6.18	0.11	14.18	1.07	62,028.67	218.60
1	7	LG SW 400 SR	4.27	0.22	5.98	5.21	0.10	11.85	1.06	66,103.31	290.01

Solubility - Pass 1

	Solubility Calculations	
	Feed	Concentrate
LSI	0.83	1.63
CaSO ₄	43.08 %	93.09 %
SrSO ₄	15.83 %	41.77 %
BaSO ₄	0.00 %	0.00 %
CaF ₂	9.33 %	59.40 %
SiO ₂	4.59 %	8.37 %
Stiff Davis Index	-0.74	0.07

Warnings - Pass 1

Design Warnings

None

Stability Warnings

LSI greater than 0.

SDI greater than 0.

Disclaimer: LG NanoH₂O Design is intended to be used by persons having the requisite technical skill, at their own discretion and risk. When using LG NanoH₂O Design, it is the user's responsibility to make provisions against fouling, scaling and chemical attacks, to account for piping- and valve pressure losses, feed pump suction pressure and permeate backpressure.

LG NanoH₂O shall not be liable for any error or miscalculation in results obtained by using NanoH₂O Design.

Because use conditions and applicable laws may differ from one location to another and may change with time, users are responsible for determining whether products are appropriate for their use.

For questions please contact us at: info@lg-nanoh2o.com

2. *TABLAS DE RESULTADOS SIMULACION NANO H_2O*
MODERNIZACIÓN LANZAROTE IV

Project Name:	Water Type: Lanzarote IV	Membrane Age: 3
Company Name:	Flux Loss per Year: 5.00 %	Safety Factor: 1
Username:	Approved By:	Salt Passage Increase: 5.00 %

Pass 1

Permeate Flow: 261.66 m³/h	Average Flux: 9 l/mh	Temperature: 20 °C
RO Feed Flow: 602.9 m³/h	Water Source: Seawater-Open Intake (SDI<5)	Average NDP: 12.49 bar
Concentrate Flow: 341.24 m³/h	Feed TDS: 38,430.33 ppm	Specific Energy: 1.85 kWh/m³
Recovery: 43.4 %	Osmotic Pressure Feed: 26.37 bar	Feed Pressure: 52.99 bar
Number Of Elements: 712	Osmotic Pressure Concentrate: 46.48 bar	Permeate TDS: 199.61 ppm
ERD Type: Isobaric Exchanger	Pump Efficiency: 85 %	Fouling Factor: 0.86

Project Name:

Company Name:

Username:

Water Type: Lanzarote IV

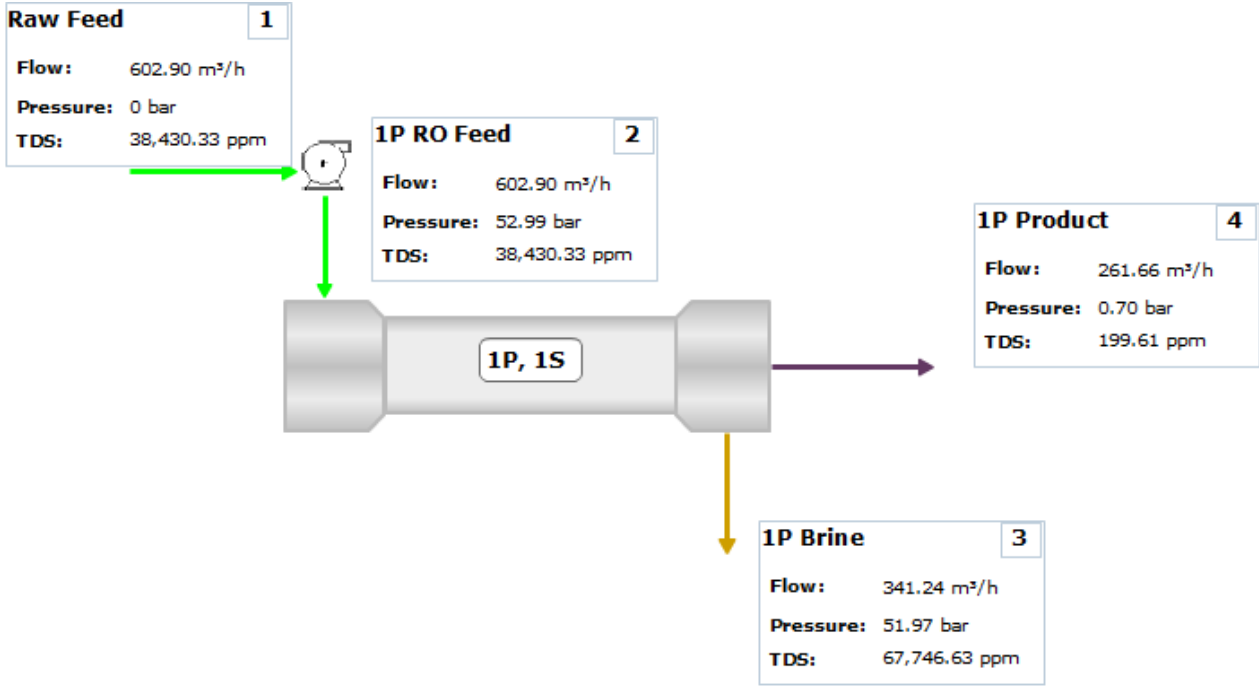
Flux Loss per Year: 5.00 %

Approved By:

Membrane Age: 3

Safety Factor: 1

Salt Passage Increase: 5.00 %



	1	2	3	4
	Raw Feed	1P RO Feed	1P Brine	1P Product
Flow: m³/h	602.90	602.90	341.24	261.66
Pressure: bar	0	52.99	51.97	0.70
TDS: ppm	38,430.33	38,430.33	67,746.63	199.61



Project Name:
Company Name:
Username:

Water Type: Lanzarote IV
Flux Loss per Year: 5.00 %
Approved By:

Membrane Age: 3
Safety Factor: 1
Salt Passage Increase: 5.00 %

Pass 1

System - Pass 1

Permeate Flow: 261.66 m³/h	Average Flux: 9.00 l/mh	Temperature: 20.00 °C
RO Feed Flow: 602.90 m³/h	Water Source: Seawater-Open Intake (SDI<5)	Average NDP: 12.49 bar
Concentrate Flow: 341.24 m³/h	Feed TDS: 38,430.33 ppm	Specific Energy: 1.85 kWh/m³
Recovery: 43.40 %	Osmotic Pressure Feed: 26.37 bar	Feed Pressure: 52.99 bar
Number Of Elements: 712	Osmotic Pressure Concentrate: 46.48 bar	Permeate TDS: 199.61 ppm
ERD Type: Isobaric Exchanger	Pump Efficiency: 85.00 %	Fouling Factor: 0.86

	# of Vessels	# of Elements	RO Feed Flow	Permeate Flow	Concentrate Flow	RO Feed Pressure	Concentrate Pressure	Vessel Pressure Drop	Boost Pressure	Permeate Back Pressure	Average Flux	Permeate TDS
			m³/h	m³/h	m³/h	bar	bar	bar	bar	bar	l/mh	ppm
Stage 1	89	8	602.90	261.69	341.21	52.99	40.97	1.02	0.00	0.70	9.00	199.61

Water Analysis - Pass 1

			Concentrate	Permeate
Species	Raw Water	Adj. Feed	Stage 1	Stage 1
Ammonium	0.31	0.31	0.52	0.01
Sodium	11,679.55	11,679.55	20,581.84	72.28
Potassium	445.41	445.41	784.49	3.30
Magnesium	1,313.54	1,313.54	2,319.87	1.43
Calcium	558.82	558.82	986.95	0.60
Strontium	6.08	6.08	10.74	0.01
Barium	0.00	0.00	0.00	0.00
Fluoride	0.78	0.78	1.37	0.01
Chloride	19,988.36	19,988.36	35,228.79	117.12
Sulfate	4,259.49	4,259.49	7,524.49	2.42
Nitrate	4.08	4.08	7.06	0.18
Carbonate	2.40	2.40	4.25	0.00
Bicarbonate	158.51	158.51	279.15	1.21
Boron	4.68	4.68	7.54	0.99
Bromide	0.00	0.00	0.00	0.00
Silica	5.44	5.44	9.57	0.05
TDS	38,430.33	38,430.33	67,746.63	199.61
pH	7.81	7.81	7.80	6.72

Disclaimer: LG NanoH2O Design is intended to be used by persons having the requisite technical skill, at their own discretion and risk. When using LG NanoH2O Design, it is the user's responsibility to make provisions against fouling, scaling and chemical attacks, to account for piping- and valve pressure losses, feed pump suction pressure and permeate backpressure.

LG NanoH2O shall not be liable for any error or miscalculation in results obtained by using NanoH2O Design.

Because use conditions and applicable laws may differ from one location to another and may change with time, users are responsible for determining whether products are appropriate for their use.

For questions please contact us at: info@lg-nanoh2o.com



Project Name:
Company Name:
Username:

Water Type: Lanzarote IV
Flux Loss per Year: 5.00 %
Approved By:

Membrane Age: 3
Safety Factor: 1
Salt Passage Increase: 5.00 %

Within Vessels - Pass 1

Stage	Position	Element Type	RO Feed	Permeate Flow	Flux	Element Recovery	Pressure Drop	Net Driving Pressure	Polarization	Feed Salinity	Permeate Salinity
			m³/h	m³/h	lmh	%	bar			ppm	ppm
1	1	LG SW 440 GR	6.77	0.75	18.39	11.08	0.20	20.89	1.12	38,430.33	75.72
1	2	LG SW 440 GR	6.02	0.60	14.67	9.94	0.17	17.53	1.11	43,209.78	104.55
1	3	LG SW 440 GR	5.42	0.47	11.46	8.63	0.14	14.43	1.09	47,968.80	145.22
1	4	LG SW 440 GR	4.96	0.36	8.82	7.26	0.12	11.71	1.07	52,483.77	201.80
1	5	LG SW 440 GR	4.60	0.27	6.72	5.97	0.11	9.38	1.06	56,579.45	279.27
1	6	LG SW 440 GR	4.32	0.21	5.11	4.82	0.10	7.46	1.05	60,155.43	383.50
1	7	LG SW 440 GR	4.11	0.16	3.88	3.85	0.09	5.91	1.04	63,185.06	521.06
1	8	LG SW 440 GR	3.96	0.12	2.97	3.06	0.09	4.68	1.03	65,696.76	698.68

Solubility - Pass 1

	Solubility Calculations	
	Feed	Concentrate
LSI	0.83	1.58
CaSO4	43.08 %	89.64 %
SrSO4	15.83 %	39.66 %
BaSO4	0.00 %	0.00 %
CaF2	9.33 %	53.76 %
SiO2	4.59 %	8.12 %
Stiff Davis Index	-0.74	0.02

Warnings - Pass 1

Design Warnings

None

Stability Warnings

LSI greater than 0.

SDI greater than 0.

Disclaimer: LG NanoH2O Design is intended to be used by persons having the requisite technical skill, at their own discretion and risk. When using LG NanoH2O Design, it is the user's responsibility to make provisions against fouling, scaling and chemical attacks, to account for piping- and valve pressure losses, feed pump suction pressure and permeate backpressure.

LG NanoH2O shall not be liable for any error or miscalculation in results obtained by using NanoH2O Design.

Because use conditions and applicable laws may differ from one location to another and may change with time, users are responsible for determining whether products are appropriate for their use.

For questions please contact us at: info@lg-nanoh2o.com

Project Name:	Water Type: Lanzarote IV	Membrane Age: 3
Company Name:	Flux Loss per Year: 5.00 %	Safety Factor: 1
Username:	Approved By:	Salt Passage Increase: 5.00 %

Pass 1

Permeate Flow: 261.95 m³/h	Average Flux: 9.44 l/mh	Temperature: 20 °C
RO Feed Flow: 610.6 m³/h	Water Source: Seawater-Open Intake (SDI<5)	Average NDP: 12.99 bar
Concentrate Flow: 348.65 m³/h	Feed TDS: 38,430.33 ppm	Specific Energy: 1.86 kWh/m³
Recovery: 42.9 %	Osmotic Pressure Feed: 26.37 bar	Feed Pressure: 53.21 bar
Number Of Elements: 680	Osmotic Pressure Concentrate: 46.07 bar	Permeate TDS: 188.77 ppm
ERD Type: Isobaric Exchanger	Pump Efficiency: 85 %	Fouling Factor: 0.86

Project Name:

Company Name:

Username:

Water Type: Lanzarote IV

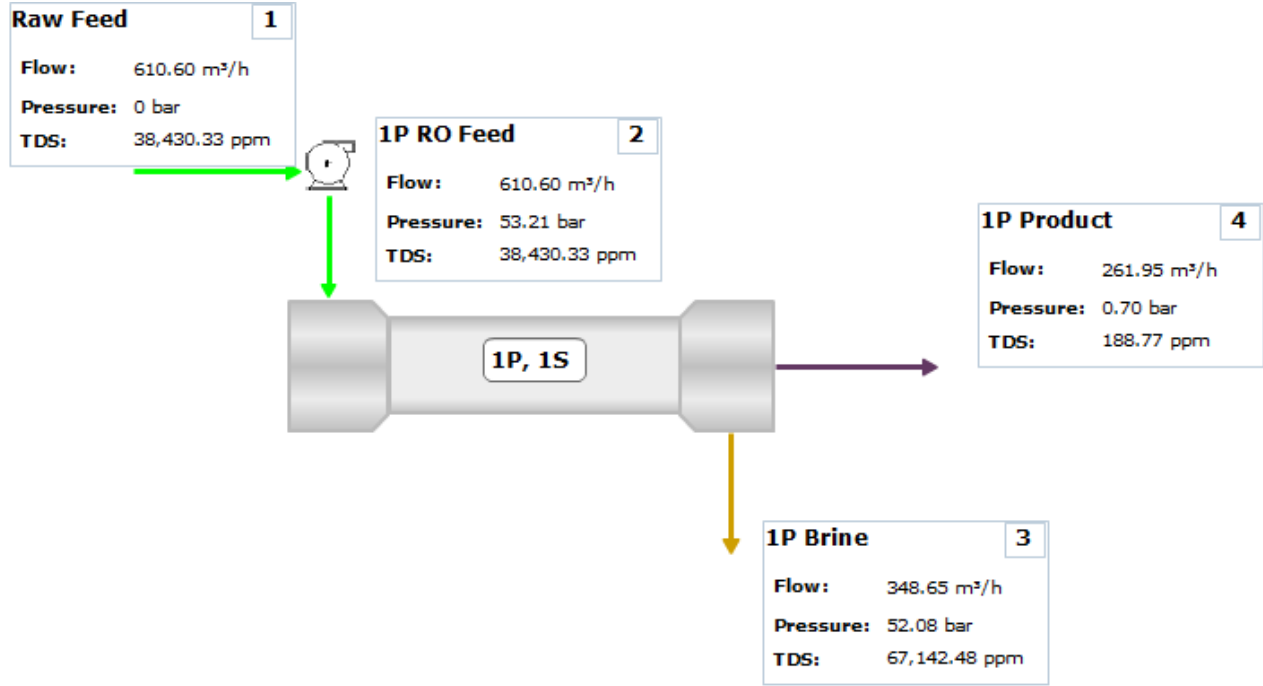
Flux Loss per Year: 5.00 %

Approved By:

Membrane Age: 3

Safety Factor: 1

Salt Passage Increase: 5.00 %



	1	2	3	4
	Raw Feed	1P RO Feed	1P Brine	1P Product
Flow: m³/h	610.60	610.60	348.65	261.95
Pressure: bar	0	53.21	52.08	0.70
TDS: ppm	38,430.33	38,430.33	67,142.48	188.77



Project Name:
Company Name:
Username:

Water Type: Lanzarote IV
Flux Loss per Year: 5.00 %
Approved By:

Membrane Age: 3
Safety Factor: 1
Salt Passage Increase: 5.00 %

Pass 1

System - Pass 1

Permeate Flow: 261.95 m³/h	Average Flux: 9.44 lmh	Temperature: 20.00 °C
RO Feed Flow: 610.60 m³/h	Water Source: Seawater-Open Intake (SDI<5)	Average NDP: 12.99 bar
Concentrate Flow: 348.65 m³/h	Feed TDS: 38,430.33 ppm	Specific Energy: 1.86 kWh/m³
Recovery: 42.90 %	Osmotic Pressure Feed: 26.37 bar	Feed Pressure: 53.21 bar
Number Of Elements: 680	Osmotic Pressure Concentrate: 46.07 bar	Permeate TDS: 188.77 ppm
ERD Type: Isobaric Exchanger	Pump Efficiency: 85.00 %	Fouling Factor: 0.86

	# of Vessels	# of Elements	RO Feed Flow	Permeate Flow	Concentrate Flow	RO Feed Pressure	Concentrate Pressure	Vessel Pressure Drop	Boost Pressure	Permeate Back Pressure	Average Flux	Permeate TDS
			m³/h	m³/h	m³/h	bar	bar	bar	bar	bar	lmh	ppm
Stage 1	85	8	610.60	261.88	348.72	53.21	52.08	1.13	0.00	0.70	9.43	188.77

Water Analysis - Pass 1

			Concentrate	Permeate
Species	Raw Water	Adj. Feed	Stage 1	Stage 1
Ammonium	0.31	0.31	0.52	0.01
Sodium	11,679.51	11,679.51	20,398.86	68.35
Potassium	445.41	445.41	777.54	3.12
Magnesium	1,313.53	1,313.53	2,298.91	1.35
Calcium	558.82	558.82	978.03	0.57
Strontium	6.08	6.08	10.65	0.01
Barium	0.00	0.00	0.00	0.00
Fluoride	0.78	0.78	1.36	0.01
Chloride	19,988.42	19,988.42	34,915.45	110.75
Sulfate	4,259.50	4,259.50	7,456.44	2.28
Nitrate	4.08	4.08	7.01	0.17
Carbonate	2.35	2.35	4.11	0.00
Bicarbonate	158.48	158.48	276.62	1.14
Boron	4.68	4.68	7.51	0.96
Bromide	0.00	0.00	0.00	0.00
Silica	5.44	5.44	9.48	0.05
TDS	38,430.33	38,430.33	67,142.48	188.77
pH	7.80	7.80	7.79	6.71

Disclaimer: LG NanoH2O Design is intended to be used by persons having the requisite technical skill, at their own discretion and risk. When using LG NanoH2O Design, it is the user's responsibility to make provisions against fouling, scaling and chemical attacks, to account for piping- and valve pressure losses, feed pump suction pressure and permeate backpressure.

LG NanoH2O shall not be liable for any error or miscalculation in results obtained by using NanoH2O Design.

Because use conditions and applicable laws may differ from one location to another and may change with time, users are responsible for determining whether products are appropriate for their use.

For questions please contact us at: info@lg-nanoh2o.com



Project Name:
Company Name:
Username:

Water Type: Lanzarote IV
Flux Loss per Year: 5.00 %
Approved By:

Membrane Age: 3
Safety Factor: 1
Salt Passage Increase: 5.00 %

Within Vessels - Pass 1

Stage	Position	Element Type	RO Feed	Permeate Flow	Flux	Element Recovery	Pressure Drop	Net Driving Pressure	Polarization	Feed Salinity	Permeate Salinity
			m³/h	m³/h	lmh	%	bar			ppm	ppm
1	1	LG SW 440 GR	7.18	0.76	18.74	10.65	0.21	21.29	1.12	38,430.33	73.84
1	2	LG SW 440 GR	6.42	0.62	15.13	9.62	0.18	18.03	1.10	43,001.48	100.48
1	3	LG SW 440 GR	5.80	0.49	11.97	8.42	0.16	15.01	1.09	47,567.83	137.55
1	4	LG SW 440 GR	5.31	0.38	9.34	7.17	0.14	12.31	1.07	51,931.34	188.53
1	5	LG SW 440 GR	4.93	0.29	7.21	5.97	0.12	9.98	1.06	55,930.51	257.65
1	6	LG SW 440 GR	4.64	0.23	5.54	4.88	0.11	8.03	1.05	59,464.92	349.90
1	7	LG SW 440 GR	4.41	0.17	4.26	3.94	0.10	6.42	1.04	62,497.90	470.97
1	8	LG SW 440 GR	4.24	0.13	3.28	3.16	0.10	5.13	1.03	65,043.65	626.91

Solubility - Pass 1

	Solubility Calculations	
	Feed	Concentrate
LSI	0.82	1.56
CaSO4	43.08 %	88.60 %
SrSO4	15.83 %	39.04 %
BaSO4	0.00 %	0.00 %
CaF2	9.33 %	52.23 %
SiO2	4.63 %	8.12 %
Stiff Davis Index	-0.75	-0.01

Warnings - Pass 1

Design Warnings

None

Stability Warnings

LSI greater than 0.

Disclaimer: LG NanoH2O Design is intended to be used by persons having the requisite technical skill, at their own discretion and risk. When using LG NanoH2O Design, it is the user's responsibility to make provisions against fouling, scaling and chemical attacks, to account for piping- and valve pressure losses, feed pump suction pressure and permeate backpressure.

LG NanoH2O shall not be liable for any error or miscalculation in results obtained by using NanoH2O Design.

Because use conditions and applicable laws may differ from one location to another and may change with time, users are responsible for determining whether products are appropriate for their use.

For questions please contact us at: info@lg-nanoh2o.com

Project Name:	Water Type: Lanzarote IV	Membrane Age: 3
Company Name:	Flux Loss per Year: 5.00 %	Safety Factor: 1
Username:	Approved By:	Salt Passage Increase: 5.00 %

Pass 1

Permeate Flow: 261.78 m³/h

Average Flux: 9.01 l/mh

Temperature: 20 °C

RO Feed Flow: 608.8 m³/h

Water Source: Seawater-Open Intake (SDI<5)

Average NDP: 12.44 bar

Concentrate Flow: 347.02 m³/h

Feed TDS: 38,430.33 ppm

Specific Energy: 1.84 kWh/m³

Recovery: 43 %

Osmotic Pressure Feed: 26.37 bar

Feed Pressure: 52.74 bar

Number Of Elements: 712

Osmotic Pressure Concentrate: 46.15 bar

Permeate TDS: 198.35 ppm

ERD Type: Isobaric Exchanger

Pump Efficiency: 85 %

Fouling Factor: 0.86

Project Name:

Company Name:

Username:

Water Type: Lanzarote IV

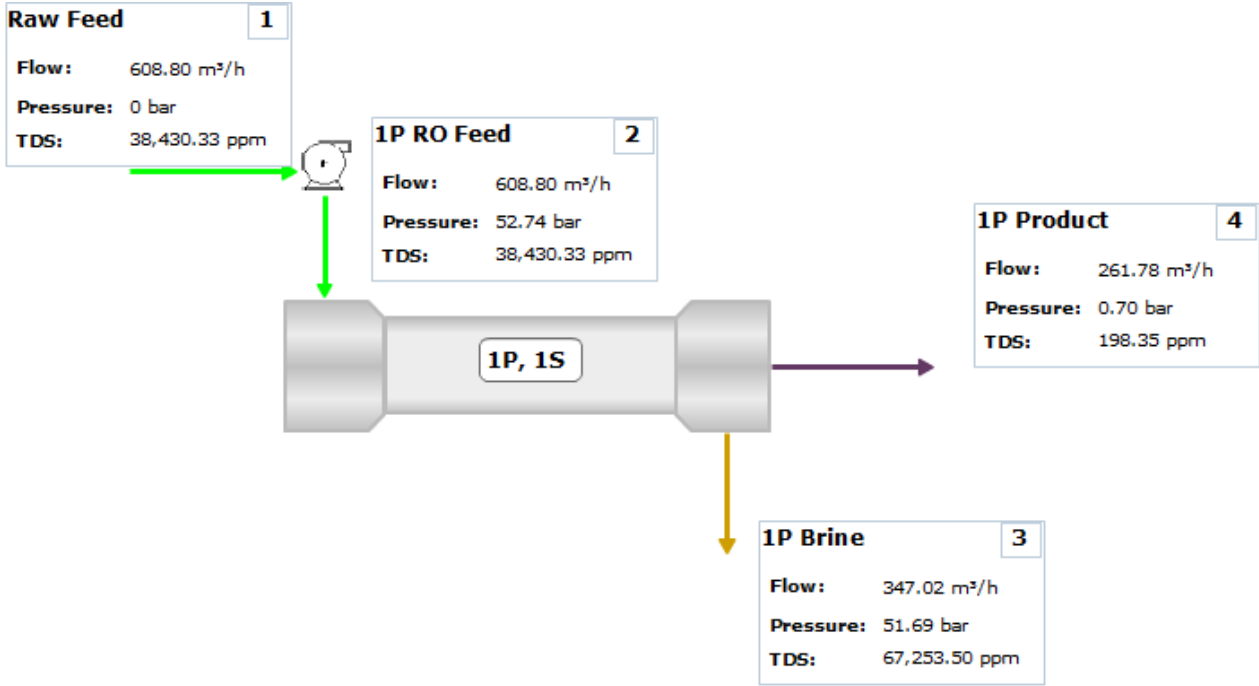
Flux Loss per Year: 5.00 %

Approved By:

Membrane Age: 3

Safety Factor: 1

Salt Passage Increase: 5.00 %



	1	2	3	4
	Raw Feed	1P RO Feed	1P Brine	1P Product
Flow: m³/h	608.80	608.80	347.02	261.78
Pressure: bar	0	52.74	51.69	0.70
TDS: ppm	38,430.33	38,430.33	67,253.50	198.35



Project Name:
Company Name:
Username:

Water Type: Lanzarote IV
Flux Loss per Year: 5.00 %
Approved By:

Membrane Age: 3
Safety Factor: 1
Salt Passage Increase: 5.00 %

Pass 1

System - Pass 1

Permeate Flow: 261.78 m³/h	Average Flux: 9.01 l/mh	Temperature: 20.00 °C
RO Feed Flow: 608.80 m³/h	Water Source: Seawater-Open Intake (SDI<5)	Average NDP: 12.44 bar
Concentrate Flow: 347.02 m³/h	Feed TDS: 38,430.33 ppm	Specific Energy: 1.84 kWh/m³
Recovery: 43.00 %	Osmotic Pressure Feed: 26.37 bar	Feed Pressure: 52.74 bar
Number Of Elements: 712	Osmotic Pressure Concentrate: 46.15 bar	Permeate TDS: 198.35 ppm
ERD Type: Isobaric Exchanger	Pump Efficiency: 85.00 %	Fouling Factor: 0.86

	# of Vessels	# of Elements	RO Feed Flow	Permeate Flow	Concentrate Flow	RO Feed Pressure	Concentrate Pressure	Vessel Pressure Drop	Boost Pressure	Permeate Back Pressure	Average Flux	Permeate TDS
			m³/h	m³/h	m³/h	bar	bar	bar	bar	bar	l/mh	ppm
Stage 1	89	8	608.80	261.72	347.08	52.74	51.69	1.05	0.00	0.70	9.00	198.35

Water Analysis - Pass 1

			Concentrate	Permeate
Species	Raw Water	Adj. Feed	Stage 1	Stage 1
Ammonium	0.31	0.31	0.52	0.01
Sodium	11,679.51	11,679.51	20,432.14	71.83
Potassium	445.41	445.41	778.79	3.28
Magnesium	1,313.53	1,313.53	2,302.91	1.42
Calcium	558.82	558.82	979.74	0.60
Strontium	6.08	6.08	10.67	0.01
Barium	0.00	0.00	0.00	0.00
Fluoride	0.78	0.78	1.36	0.01
Chloride	19,988.42	19,988.42	34,972.67	116.38
Sulfate	4,259.50	4,259.50	7,469.52	2.40
Nitrate	4.08	4.08	7.01	0.18
Carbonate	2.35	2.35	4.12	0.00
Bicarbonate	158.48	158.48	277.07	1.20
Boron	4.68	4.68	7.49	0.99
Bromide	0.00	0.00	0.00	0.00
Silica	5.44	5.44	9.50	0.05
TDS	38,430.33	38,430.33	67,253.50	198.35
pH	7.80	7.80	7.79	6.71

Disclaimer: LG NanoH2O Design is intended to be used by persons having the requisite technical skill, at their own discretion and risk. When using LG NanoH2O Design, it is the user's responsibility to make provisions against fouling, scaling and chemical attacks, to account for piping- and valve pressure losses, feed pump suction pressure and permeate backpressure.

LG NanoH2O shall not be liable for any error or miscalculation in results obtained by using NanoH2O Design.

Because use conditions and applicable laws may differ from one location to another and may change with time, users are responsible for determining whether products are appropriate for their use.

For questions please contact us at: info@lg-nanoh2o.com



Project Name:
Company Name:
Username:

Water Type: Lanzarote IV
Flux Loss per Year: 5.00 %
Approved By:

Membrane Age: 3
Safety Factor: 1
Salt Passage Increase: 5.00 %

Within Vessels - Pass 1

Stage	Position	Element Type	RO Feed	Permeate Flow	Flux	Element Recovery	Pressure Drop	Net Driving Pressure	Polarization	Feed Salinity	Permeate Salinity
			m³/h	m³/h	lmh	%	bar			ppm	ppm
1	1	LG SW 440 GR	6.84	0.74	18.24	10.89	0.20	20.73	1.12	38,430.33	76.09
1	2	LG SW 440 GR	6.10	0.60	14.60	9.78	0.17	17.43	1.11	43,116.12	104.56
1	3	LG SW 440 GR	5.50	0.47	11.45	8.50	0.14	14.39	1.09	47,777.76	144.52
1	4	LG SW 440 GR	5.03	0.36	8.85	7.18	0.13	11.70	1.07	52,202.60	199.88
1	5	LG SW 440 GR	4.67	0.28	6.77	5.92	0.11	9.41	1.06	56,223.34	275.39
1	6	LG SW 440 GR	4.39	0.21	5.16	4.80	0.10	7.50	1.05	59,742.87	376.67
1	7	LG SW 440 GR	4.18	0.16	3.94	3.84	0.10	5.96	1.04	62,733.62	510.02
1	8	LG SW 440 GR	4.02	0.12	3.02	3.06	0.09	4.73	1.03	65,220.74	681.99

Solubility - Pass 1

	Solubility Calculations	
	Feed	Concentrate
LSI	0.82	1.56
CaSO4	43.08 %	88.81 %
SrSO4	15.83 %	39.16 %
BaSO4	0.00 %	0.00 %
CaF2	9.33 %	52.51 %
SiO2	4.63 %	8.13 %
Stiff Davis Index	-0.75	-0.01

Warnings - Pass 1

Design Warnings

None

Stability Warnings

LSI greater than 0.

Disclaimer: LG NanoH2O Design is intended to be used by persons having the requisite technical skill, at their own discretion and risk. When using LG NanoH2O Design, it is the user's responsibility to make provisions against fouling, scaling and chemical attacks, to account for piping- and valve pressure losses, feed pump suction pressure and permeate backpressure.

LG NanoH2O shall not be liable for any error or miscalculation in results obtained by using NanoH2O Design.

Because use conditions and applicable laws may differ from one location to another and may change with time, users are responsible for determining whether products are appropriate for their use.

For questions please contact us at: info@lg-nanoh2o.com

Project Name:	Water Type: Lanzarote IV	Membrane Age: 3
Company Name:	Flux Loss per Year: 5.00 %	Safety Factor: 1
Username:	Approved By:	Salt Passage Increase: 5.00 %

Pass 1

Permeate Flow: 255.85 m³/h	Average Flux: 9.44 l/mh	Temperature: 20 °C
RO Feed Flow: 602 m³/h	Water Source: Seawater-Open Intake (SDI<5)	Average NDP: 12.94 bar
Concentrate Flow: 346.15 m³/h	Feed TDS: 38,430.33 ppm	Specific Energy: 1.86 kWh/m³
Recovery: 42.5 %	Osmotic Pressure Feed: 26.37 bar	Feed Pressure: 52.95 bar
Number Of Elements: 664	Osmotic Pressure Concentrate: 45.74 bar	Permeate TDS: 187.64 ppm
ERD Type: Isobaric Exchanger	Pump Efficiency: 85 %	Fouling Factor: 0.86

Project Name:

Company Name:

Username:

Water Type: Lanzarote IV

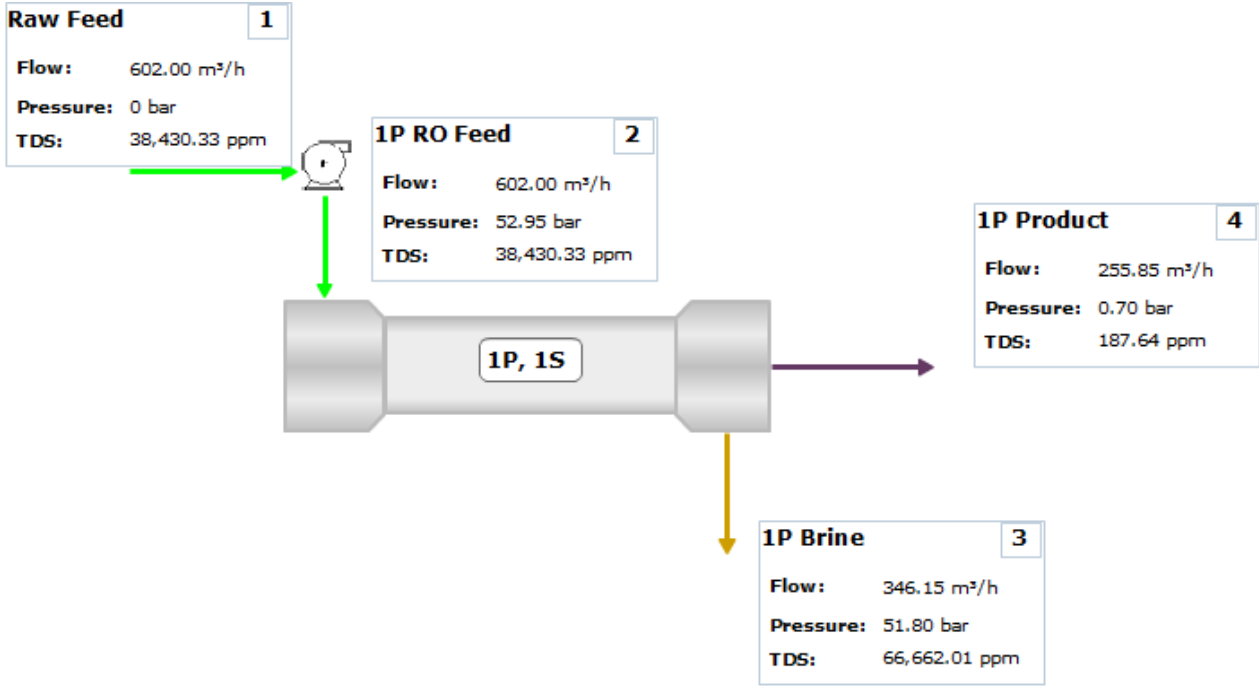
Flux Loss per Year: 5.00 %

Approved By:

Membrane Age: 3

Safety Factor: 1

Salt Passage Increase: 5.00 %



	1	2	3	4
	Raw Feed	1P RO Feed	1P Brine	1P Product
Flow: m³/h	602.00	602.00	346.15	255.85
Pressure: bar	0	52.95	51.80	0.70
TDS: ppm	38,430.33	38,430.33	66,662.01	187.64



Project Name:
Company Name:
Username:

Water Type: Lanzarote IV
Flux Loss per Year: 5.00 %
Approved By:

Membrane Age: 3
Safety Factor: 1
Salt Passage Increase: 5.00 %

Pass 1

System - Pass 1

Permeate Flow: 255.85 m³/h	Average Flux: 9.44 lmh	Temperature: 20.00 °C
RO Feed Flow: 602.00 m³/h	Water Source: Seawater-Open Intake (SDI<5)	Average NDP: 12.94 bar
Concentrate Flow: 346.15 m³/h	Feed TDS: 38,430.33 ppm	Specific Energy: 1.86 kWh/m³
Recovery: 42.50 %	Osmotic Pressure Feed: 26.37 bar	Feed Pressure: 52.95 bar
Number Of Elements: 664	Osmotic Pressure Concentrate: 45.74 bar	Permeate TDS: 187.64 ppm
ERD Type: Isobaric Exchanger	Pump Efficiency: 85.00 %	Fouling Factor: 0.86

	# of Vessels	# of Elements	RO Feed Flow	Permeate Flow	Concentrate Flow	RO Feed Pressure	Concentrate Pressure	Vessel Pressure Drop	Boost Pressure	Permeate Back Pressure	Average Flux	Permeate TDS
			m³/h	m³/h	m³/h	bar	bar	bar	bar	bar	lmh	ppm
Stage 1	83	8	602.00	255.70	346.30	52.95	51.80	1.15	0.00	0.70	9.43	187.64

Water Analysis - Pass 1

			Concentrate	Permeate
Species	Raw Water	Adj. Feed	Stage 1	Stage 1
Ammonium	0.31	0.31	0.51	0.01
Sodium	11,679.51	11,679.51	20,253.01	67.94
Potassium	445.41	445.41	771.99	3.10
Magnesium	1,313.53	1,313.53	2,282.40	1.35
Calcium	558.82	558.82	971.01	0.57
Strontium	6.08	6.08	10.57	0.01
Barium	0.00	0.00	0.00	0.00
Fluoride	0.78	0.78	1.35	0.01
Chloride	19,988.42	19,988.42	34,665.74	110.08
Sulfate	4,259.50	4,259.50	7,402.87	2.27
Nitrate	4.08	4.08	6.96	0.17
Carbonate	2.35	2.35	4.08	0.00
Bicarbonate	158.48	158.48	274.65	1.14
Boron	4.68	4.68	7.46	0.96
Bromide	0.00	0.00	0.00	0.00
Silica	5.44	5.44	9.42	0.04
TDS	38,430.33	38,430.33	66,662.01	187.64
pH	7.80	7.80	7.79	6.71

Disclaimer: LG NanoH2O Design is intended to be used by persons having the requisite technical skill, at their own discretion and risk. When using LG NanoH2O Design, it is the user's responsibility to make provisions against fouling, scaling and chemical attacks, to account for piping- and valve pressure losses, feed pump suction pressure and permeate backpressure.

LG NanoH2O shall not be liable for any error or miscalculation in results obtained by using NanoH2O Design.

Because use conditions and applicable laws may differ from one location to another and may change with time, users are responsible for determining whether products are appropriate for their use.

For questions please contact us at: info@lg-nanoh2o.com



Project Name:
Company Name:
Username:

Water Type: Lanzarote IV
Flux Loss per Year: 5.00 %
Approved By:

Membrane Age: 3
Safety Factor: 1
Salt Passage Increase: 5.00 %

Within Vessels - Pass 1

Stage	Position	Element Type	RO Feed	Permeate Flow	Flux	Element Recovery	Pressure Drop	Net Driving Pressure	Polarization	Feed Salinity	Permeate Salinity
			m³/h	m³/h	lmh	%	bar			ppm	ppm
1	1	LG SW 440 GR	7.25	0.76	18.59	10.47	0.22	21.13	1.12	38,430.33	74.20
1	2	LG SW 440 GR	6.49	0.61	15.05	9.46	0.18	17.92	1.10	42,913.63	100.52
1	3	LG SW 440 GR	5.88	0.49	11.95	8.30	0.16	14.95	1.09	47,388.05	136.98
1	4	LG SW 440 GR	5.39	0.38	9.36	7.09	0.14	12.30	1.07	51,665.13	186.90
1	5	LG SW 440 GR	5.01	0.30	7.26	5.91	0.13	10.00	1.06	55,590.75	254.34
1	6	LG SW 440 GR	4.71	0.23	5.60	4.85	0.12	8.06	1.05	59,068.03	344.07
1	7	LG SW 440 GR	4.48	0.18	4.32	3.93	0.11	6.47	1.04	62,060.23	461.56
1	8	LG SW 440 GR	4.31	0.14	3.34	3.16	0.10	5.18	1.03	64,579.07	612.65

Solubility - Pass 1

	Solubility Calculations	
	Feed	Concentrate
LSI	0.82	1.55
CaSO4	43.08 %	87.78 %
SrSO4	15.83 %	38.56 %
BaSO4	0.00 %	0.00 %
CaF2	9.33 %	51.03 %
SiO2	4.63 %	8.06 %
Stiff Davis Index	-0.75	-0.02

Warnings - Pass 1

Design Warnings

None

Stability Warnings

LSI greater than 0.

Disclaimer: LG NanoH2O Design is intended to be used by persons having the requisite technical skill, at their own discretion and risk. When using LG NanoH2O Design, it is the user's responsibility to make provisions against fouling, scaling and chemical attacks, to account for piping- and valve pressure losses, feed pump suction pressure and permeate backpressure.

LG NanoH2O shall not be liable for any error or miscalculation in results obtained by using NanoH2O Design.

Because use conditions and applicable laws may differ from one location to another and may change with time, users are responsible for determining whether products are appropriate for their use.

For questions please contact us at: info@lg-nanoh2o.com

Project Name:	Water Type: Lanzarote IV	Membrane Age: 3
Company Name:	Flux Loss per Year: 5.00 %	Safety Factor: 1
Username:	Approved By:	Salt Passage Increase: 5.00 %

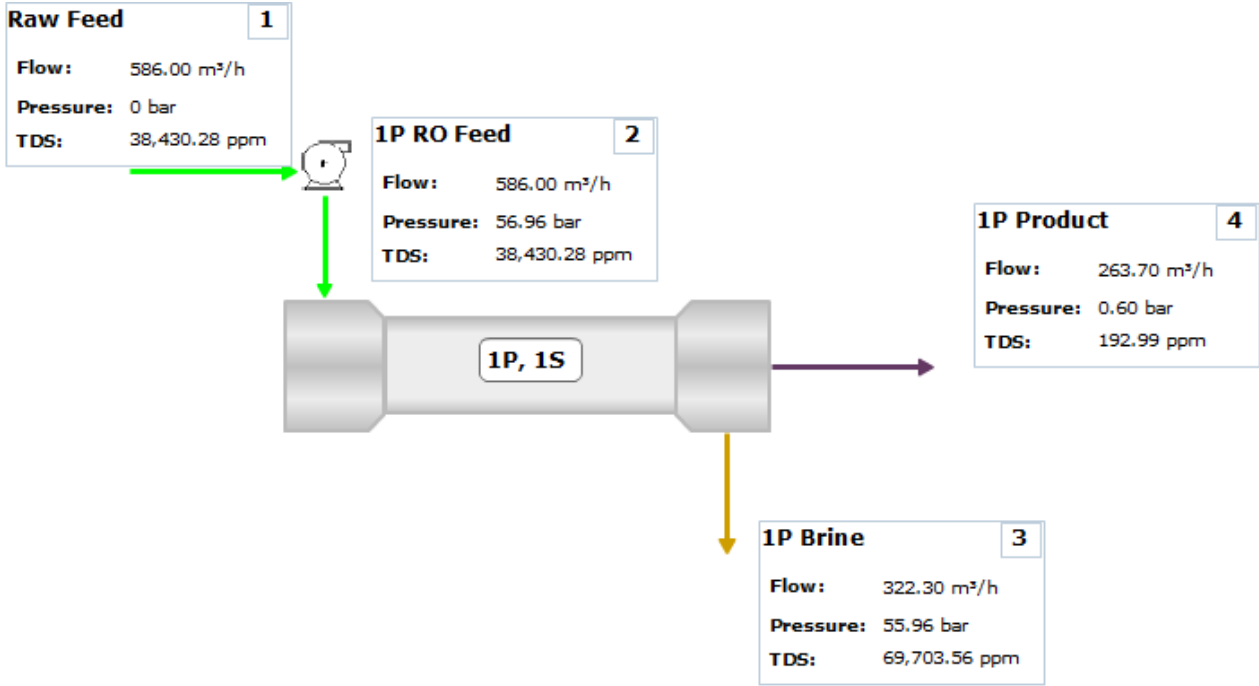
Pass 1

Permeate Flow: 263.7 m³/h	Average Flux: 12.69 l/mh	Temperature: 25 °C
RO Feed Flow: 586 m³/h	Water Source: Seawater-Open Intake (SDI<5)	Average NDP: 14.82 bar
Concentrate Flow: 322.3 m³/h	Feed TDS: 38,430.28 ppm	Specific Energy: 1.97 kWh/m³
Recovery: 45 %	Osmotic Pressure Feed: 26.82 bar	Feed Pressure: 56.96 bar
Number Of Elements: 560	Osmotic Pressure Concentrate: 48.64 bar	Permeate TDS: 192.99 ppm
ERD Type: Isobaric Exchanger	Pump Efficiency: 85 %	Fouling Factor: 0.86

Project Name:
Company Name:
Username:

Water Type: Lanzarote IV
Flux Loss per Year: 5.00 %
Approved By:

Membrane Age: 3
Safety Factor: 1
Salt Passage Increase: 5.00 %



	1	2	3	4
	Raw Feed	1P RO Feed	1P Brine	1P Product
Flow: m³/h	586.00	586.00	322.30	263.70
Pressure: bar	0	56.96	55.96	0.60
TDS: ppm	38,430.28	38,430.28	69,703.56	192.99



Project Name:
Company Name:
Username:

Water Type: Lanzarote IV
Flux Loss per Year: 5.00 %
Approved By:

Membrane Age: 3
Safety Factor: 1
Salt Passage Increase: 5.00 %

Pass 1

System - Pass 1

Permeate Flow: 263.70 m³/h	Average Flux: 11.10 lmh	Temperature: 20.00 °C
RO Feed Flow: 586.00 m³/h	Water Source: Seawater-Open Intake (SDI<5)	Average NDP: 12.85 bar
Concentrate Flow: 322.30 m³/h	Feed TDS: 38,430.33 ppm	Specific Energy: 1.89 kWh/m³
Recovery: 45.00 %	Osmotic Pressure Feed: 26.37 bar	Feed Pressure: 54.49 bar
Number Of Elements: 640	Osmotic Pressure Concentrate: 47.83 bar	Permeate TDS: 198.49 ppm
ERD Type: Isobaric Exchanger	Pump Efficiency: 85.00 %	Fouling Factor: 0.86

	# of Vessels	# of Elements	RO Feed Flow	Permeate Flow	Concentrate Flow	RO Feed Pressure	Concentrate Pressure	Vessel Pressure Drop	Boost Pressure	Permeate Back Pressure	Average Flux	Permeate TDS
			m³/h	m³/h	m³/h	bar	bar	bar	bar	bar	lmh	ppm
Stage 1	80	8	586.00	263.70	322.30	54.49	53.36	1.12	0.00	0.60	11.10	198.49

Water Analysis - Pass 1

			Concentrate	Permeate
Species	Raw Water	Adj. Feed	Stage 1	Stage 1
Ammonium	0.31	0.31	0.53	0.01
Sodium	11,679.51	11,679.51	21,176.08	71.88
Potassium	445.41	445.41	807.12	3.28
Magnesium	1,313.53	1,313.53	2,387.01	1.42
Calcium	558.82	558.82	1,015.51	0.60
Strontium	6.08	6.08	11.06	0.01
Barium	0.00	0.00	0.00	0.00
Fluoride	0.78	0.78	1.41	0.01
Chloride	19,988.42	19,988.42	36,246.27	116.46
Sulfate	4,259.50	4,259.50	7,742.37	2.40
Nitrate	4.08	4.08	7.26	0.18
Carbonate	2.35	2.35	4.27	0.00
Bicarbonate	158.48	158.48	287.15	1.20
Boron	4.68	4.68	7.73	0.99
Bromide	0.00	0.00	0.00	0.00
Silica	5.44	5.44	9.85	0.05
TDS	38,430.33	38,430.33	69,703.62	198.49
pH	7.80	7.80	7.79	6.71

Disclaimer: LG NanoH2O Design is intended to be used by persons having the requisite technical skill, at their own discretion and risk. When using LG NanoH2O Design, it is the user's responsibility to make provisions against fouling, scaling and chemical attacks, to account for piping- and valve pressure losses, feed pump suction pressure and permeate backpressure.

LG NanoH2O shall not be liable for any error or miscalculation in results obtained by using NanoH2O Design.

Because use conditions and applicable laws may differ from one location to another and may change with time, users are responsible for determining whether products are appropriate for their use.

For questions please contact us at: info@lg-nanoh2o.com



Project Name:
Company Name:
Username:

Water Type: Lanzarote IV
Flux Loss per Year: 5.00 %
Approved By:

Membrane Age: 3
Safety Factor: 1
Salt Passage Increase: 5.00 %

Within Vessels - Pass 1

Stage	Position	Element Type	RO Feed	Permeate Flow	Flux	Element Recovery	Pressure Drop	Net Driving Pressure	Polarization	Feed Salinity	Permeate Salinity
			m³/h	m³/h	lmh	%	bar			ppm	ppm
1	1	LG SW 400 R	7.33	0.86	23.20	11.75	0.22	21.69	1.15	38,430.33	73.13
1	2	LG SW 400 R	6.46	0.68	18.32	10.52	0.18	18.08	1.13	43,538.32	102.41
1	3	LG SW 400 R	5.78	0.53	14.16	9.09	0.16	14.79	1.11	48,644.80	144.17
1	4	LG SW 400 R	5.26	0.40	10.78	7.61	0.14	11.91	1.09	53,491.70	202.82
1	5	LG SW 400 R	4.86	0.30	8.13	6.21	0.12	9.49	1.07	57,878.04	283.74
1	6	LG SW 400 R	4.56	0.23	6.12	4.98	0.11	7.51	1.05	61,691.44	393.26
1	7	LG SW 400 R	4.33	0.17	4.61	3.95	0.10	5.92	1.04	64,905.25	538.47
1	8	LG SW 400 R	4.16	0.13	3.50	3.13	0.10	4.67	1.03	67,554.98	726.59

Solubility - Pass 1

	Solubility Calculations	
	Feed	Concentrate
LSI	0.82	1.62
CaSO4	43.08 %	93.11 %
SrSO4	15.83 %	41.76 %
BaSO4	0.00 %	0.00 %
CaF2	9.33 %	59.19 %
SiO2	4.63 %	8.42 %
Stiff Davis Index	-0.75	0.06

Warnings - Pass 1

Design Warnings

None

Stability Warnings

LSI greater than 0.

SDI greater than 0.

Disclaimer: LG NanoH2O Design is intended to be used by persons having the requisite technical skill, at their own discretion and risk. When using LG NanoH2O Design, it is the user's responsibility to make provisions against fouling, scaling and chemical attacks, to account for piping- and valve pressure losses, feed pump suction pressure and permeate backpressure.

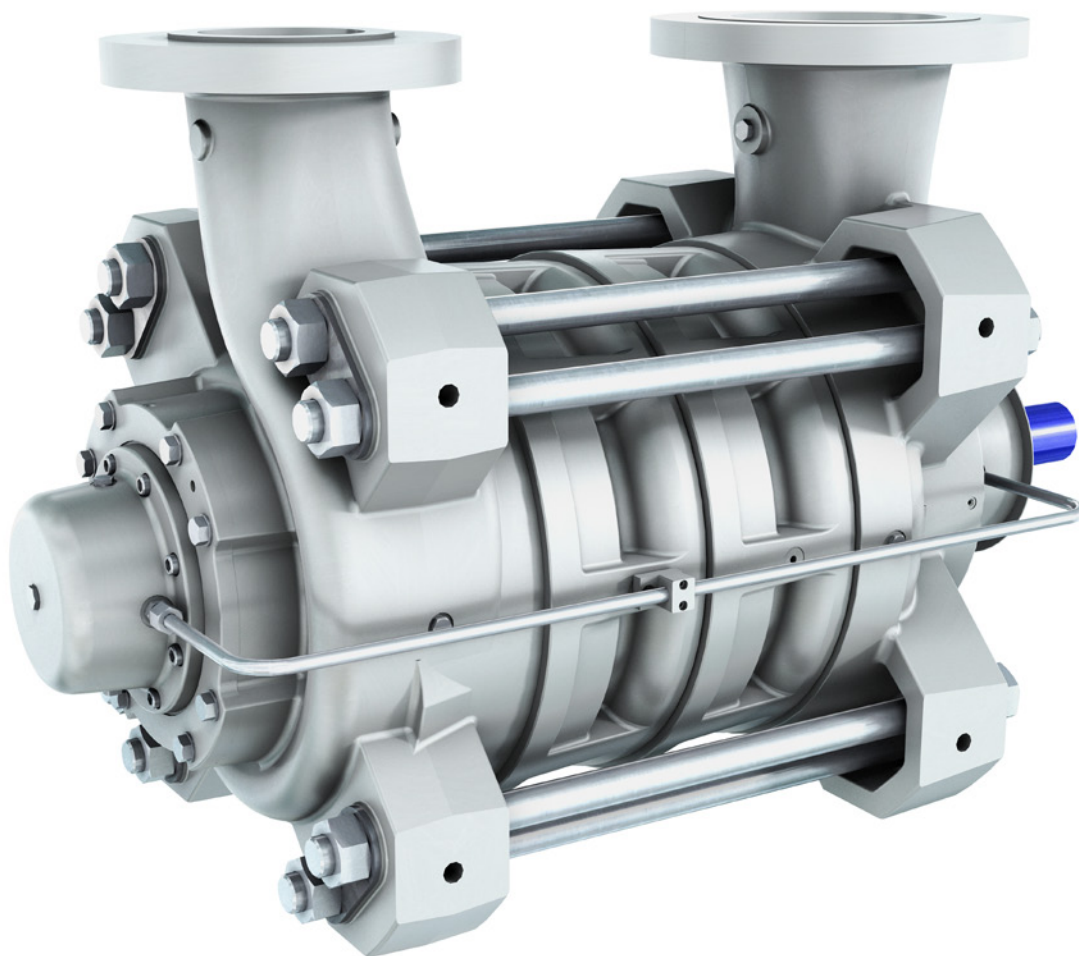
LG NanoH2O shall not be liable for any error or miscalculation in results obtained by using NanoH2O Design.

Because use conditions and applicable laws may differ from one location to another and may change with time, users are responsible for determining whether products are appropriate for their use.

For questions please contact us at: info@lg-nanoh2o.com

3. *DATASHEET MBN-RO BOMBA DE ALTAS PRESIÓN*

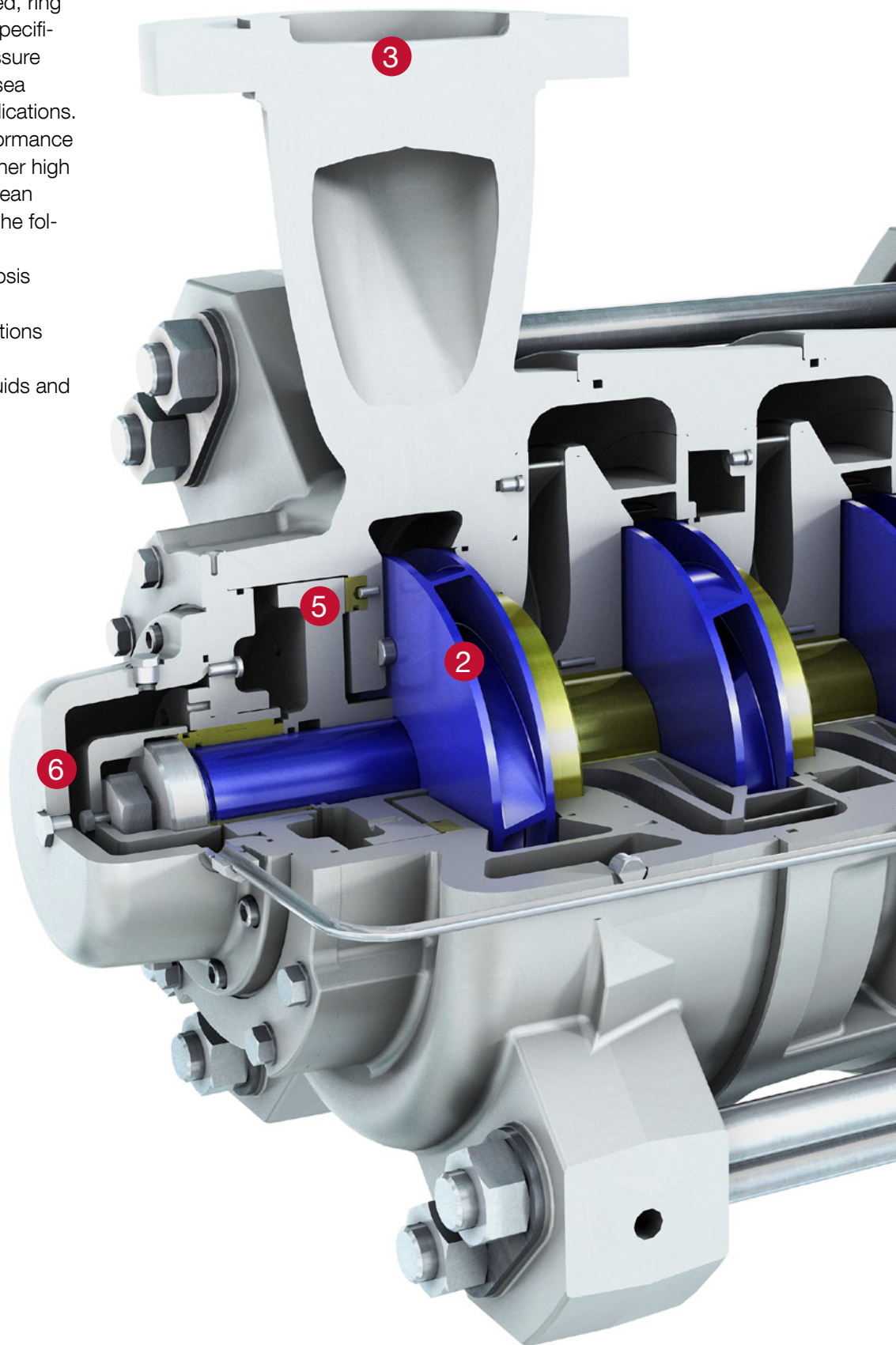
MBN-RO Multistage Ring Section Pump

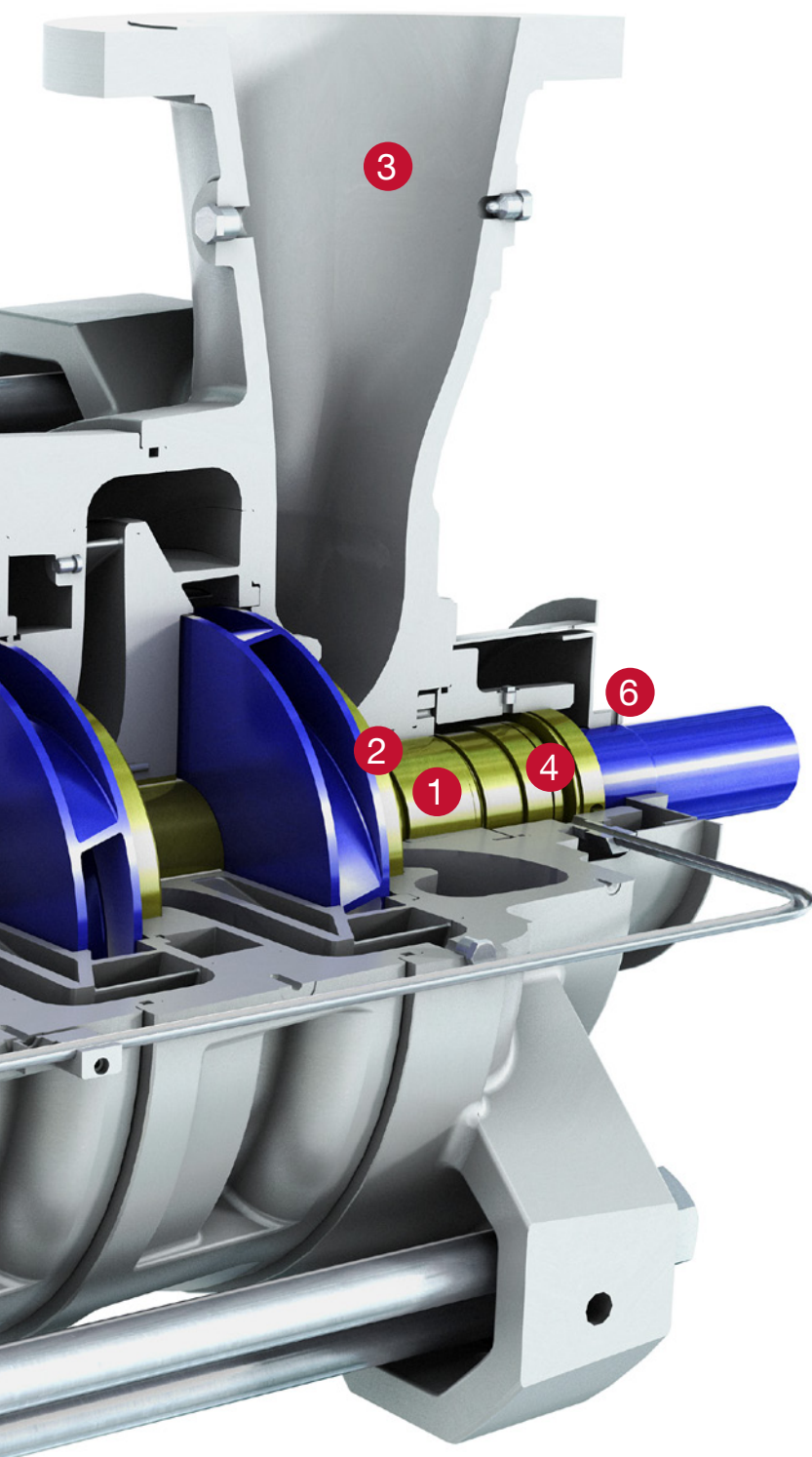


Main Applications

The MBN-RO is a configured, ring section, multistage pump specifically designed for high pressure membrane feed service in sea water reverse osmosis applications. Its improved hydraulic performance makes it suitable for any other high pressure application with clean liquids. It is mainly used in the following applications:

- Sea Water Reverse Osmosis (SWRO) applications
- Clean water pumping stations
- Any other high pressure application with clean liquids and low temperature





Features and Benefits

1 Bearing assembly

- Product-lubricated bearings at both Drive End (DE) and Non-Drive End (NDE) to make the pump compact, reliable and easy to maintain, do not require lubricating grease or oil

2 Hydraulics

- High efficiency, low Net Positive Suction Head (NPSH) impellers to match customer needs are used for all stages, providing modularity, top efficiency and ideal suction performance
- Double volute at last stage reduces the radial thrust and increases overall efficiency
- Replaceable stationary PEEK wear parts used to increase efficiency and reduce maintenance

3 Flanges

- Can be installed side or top position as per customer convenience allows flexibility in the pipe layout including the typical side-side orientation
- Radial suction flange allows accessibility to mechanical seal and product lubricated bearing at DE without disassembling the piping

4 Shaft sealing

- Integrated single mechanical seal at DE, low pressure side, with flushing from first stage
- No mechanical seal on the high pressure side

5 Axial thrust balance

- By means of balancing disc to ensure optimum efficiency

6 Maintenance

- All parts typically subject to maintenance (both DE and NDE bearings, balancing disc, mechanical seal) are accessible and can be replaced on site, without removal of suction and discharge piping

MBN-RO Multistage Ring Section Pump



Oil and gas



Hydrocarbon processing



Power generation



Pulp and paper



General industry



Chemical processing

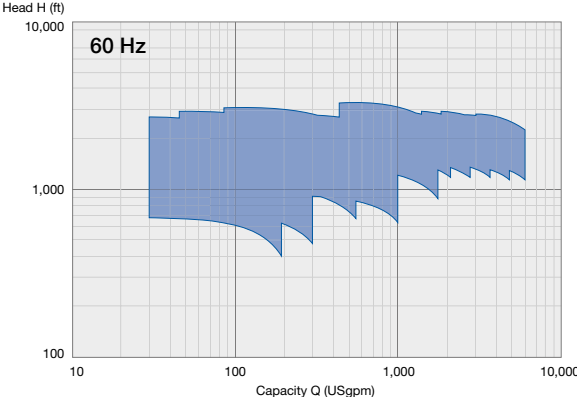
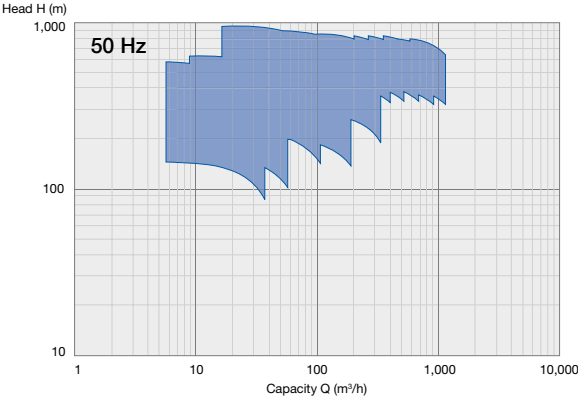


Water and wastewater

Operating data

50 Hz		60 Hz
25 to 200 mm	Pump sizes	1 to 8 in
up to 1,100 m ³ /h	Capacities	up to 4,800 USgpm
up to 900 m	Heads	up to 2,950 ft
up to 100 bar	Pressures	up to 1,450 psi
90°C	Temperatures	194°F

Performance ranges



Materials

Pump part	Material classes	
	41 (Duplex)	4T (Superduplex)
Casing, impeller, diffuser	ASTM A890 Gr 3A	ASTM A890 Gr 5A
Wear ring	PEEK	PEEK
Shaft	EN 1.4462	EN1.4410
Slide bearings	EN 1.4462 + PEEK/SUME	EN 1.4410+PEEK/SUME
Cover	ASTM A890 Gr 5A	ASTM A890 Gr 5A

We Do What We Say

Customer partnership

- We are **reliable partners**
- We provide a **high level of service**
- We **make our customers more competitive**



Committed people

- We drive **accountability**
- We are **open and transparent**
- We are **team players**



Operational excellence

- We **focus on results**
- We take **initiative** and work within **established processes**
- We **act safely**



A Global Specialist at Your Doorstep

Sulzer serves clients worldwide through a network of over 150 production and service sites and has a strong footprint in emerging markets.



● Sulzer headquarters,
Winterthur, Switzerland



www.sulzer.com

E10109 en (2) 5.2015 (1,000), Copyright © SULZER Ltd. 2015

This brochure is a general presentation. It does not provide any warranty or guarantee of any kind. Please, contact us for a description of the warranties and guarantees offered with our products. Directions for use and safety will be given separately. All information herein is subject to change without notice.

4. DATASHEET MEMBRANAS

**FILMTEC™ Membranes****8" BW30LE-440 High Surface Area Low-Energy Brackish Water RO Element****Features**

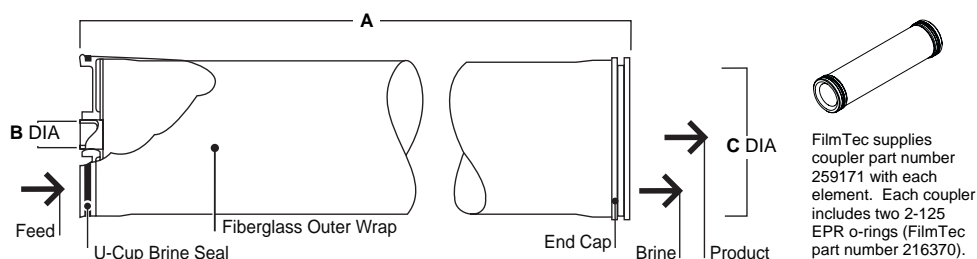
The FILMTEC™ BW30LE-440 element has a nominal active membrane area of 440 square feet (41 m²) and an average permeate flow of 11,500 gpd (44 m³/d) at 150 psi under standard conditions as noted below. External element dimensions are identical to those of conventional 8" elements; however, the I.D. of the product water tube is slightly larger (see Dimension B below). Optimizing membrane chemistry results in lower pressure operation than the FILMTEC BW30-400, which means system operating economy is enhanced. Because the high productivity of the FILMTEC BW30LE-440 element results from increased surface area and increased element efficiency, the rate of membrane fouling remains low. This means higher flow rates can be sustained over time and element service life is prolonged. The productivity advantages of the FILMTEC BW30LE-440 element can be employed in the design of new systems that produce the desired flow rate while operating at significantly lower feed pressures which can result in savings due to lower energy consumption and fewer pumps. The high surface area of the FILMTEC BW30LE-440 element permits designs of new RO systems that meet productivity targets with fewer elements than standard 8-inch elements resulting in lower installed system cost by reducing the number of system components and lower installation expense.

Product Specifications

Product	Nominal Active Surface Area ft ² (m ²)	Product Water Flow Rate gpd (m ³ /d)	Stabilized Salt Rejection Cl ⁻ (%)
BW30LE-440	440 (41)	11,500 ¹ (44)	99.0

1. Permeate flow and salt rejection based on the following standard conditions: 2,000 ppm NaCl, 150 psi (1.0 MPa), 77°F (25°C), pH 8 and 15% recovery.
2. Flow rates for individual elements may vary but will be no more than 15% below the value shown.
3. Sales specifications may vary as design revisions take place.
4. Minimum salt rejection for individual element is 98.0%.

Figure 1



FilmTec supplies coupler part number 259171 with each element. Each coupler includes two 2-125 EPR o-rings (FilmTec part number 216370).

Product	Typical Recovery Rate (%)	Dimensions – Inches (mm)		
		A	B	C
BW30LE-440	15	40.0 (1,016)	1.5 ³ (38)	7.9 (201)

Operating Limits

- Membrane Type Polyamide Thin-Film Composite
- Maximum Operating Temperature^a 113 °F (45°C)
- Maximum Operating Pressure 600 psig (41 bar)
- Maximum Pressure Drop 15 psig (1.0 bar)
- pH Range, Continuous Operation^a 2 - 11
- pH Range, Short-Term Cleaning (30 min.)^b 1 - 13
- Maximum Feed Flow 85 gpm (19 m³/hr)
- Maximum Feed Silt Density Index SDI 5
- Free Chlorine Tolerance^c < 0.1 ppm

^a Maximum temperature for continuous operation above pH 10 is 95°F (35°C).

^b Refer to Cleaning Guidelines in specification sheet 609-23010.

^c Under certain conditions, the presence of free chlorine and other oxidizing agents will cause premature membrane failure. Since oxidation damage is not covered under warranty, FilmTec recommends removing residual free chlorine by pretreatment prior to membrane exposure. Please refer to technical bulletin 609-22010 for more information.

Important Information

Proper start-up of reverse osmosis water treatment systems is essential to prepare the membranes for operating service and to prevent membrane damage due to overfeeding or hydraulic shock. Following the proper start-up sequence also helps ensure that system operating parameters conform to design specifications so that system water quality and productivity goals can be achieved.

Before initiating system start-up procedures, membrane pretreatment, loading of the membrane elements, instrument calibration and other system checks should be completed.

Please refer to the application information literature entitled "Start-Up Sequence" (Form No. 609-02077) for more information.

Operation Guidelines

Avoid any abrupt pressure or cross-flow variations on the spiral elements during start-up, shutdown, cleaning or other sequences to prevent possible membrane damage. During start-up, a gradual change from a standstill to operating state is recommended as follows:

- Feed pressure should be increased gradually over a 30-60 second time frame.
- Cross-flow velocity at set operating point should be achieved gradually over 15-20 seconds.
- Permeate obtained from first hour of operation should be discarded.

General Information

- Keep elements moist at all times after initial wetting.
- If operating limits and guidelines given in this bulletin are not strictly followed, the limited warranty will be null and void.
- To prevent biological growth during prolonged system shutdowns, it is recommended that membrane elements be immersed in a preservative solution.
- The customer is fully responsible for the effects of incompatible chemicals and lubricants on elements.
- Maximum pressure drop across an entire pressure vessel (housing) is 50 psi (3.4 bar).
- Avoid permeate-side backpressure at all times.

Regulatory Note

These membranes may be subject to drinking water application restrictions in some countries: please check the application status before use and sale.

FILMTEC™ Membranes

For more information contact:

info@lenntech.com

www.lenntech.com

Tel. +31-15-261.09.00

Fax. +31-15-261.62.89

Notice: The use of this product in and of itself does not necessarily guarantee the removal of cysts and pathogens from water. Effective cyst and pathogen reduction is dependent on the complete system design and on the operation and maintenance of the system.

Notice: No freedom from any patent owned by Seller or others is to be inferred. Because use conditions and applicable laws may differ from one location to another and may change with time, Customer is responsible for determining whether products and the information in this document are appropriate for Customer's use and for ensuring that Customer's workplace and disposal practices are in compliance with applicable laws and other governmental enactments. Seller assumes no obligation or liability for the information in this document. NO WARRANTIES ARE GIVEN; ALL IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY OR FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE ARE EXPRESSLY EXCLUDED.



**FILMTEC™ Membranes****FILMTEC SW30-380 High Productivity Seawater RO Element****Features**

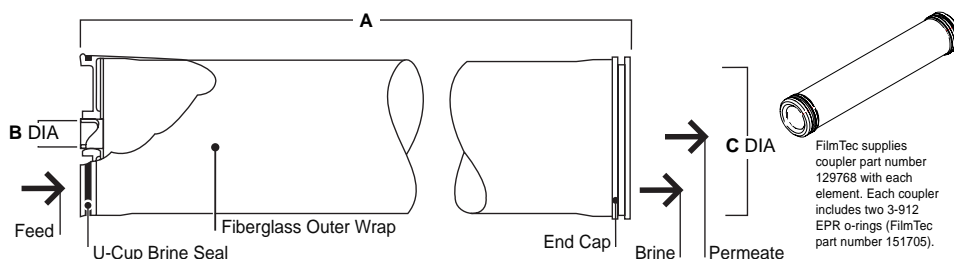
The FILMTEC™ SW30-380 is a high productivity seawater reverse osmosis element that offers the lowest energy consumption in the industry for optimal economics in two-pass seawater desalination systems. In addition, this element is well suited for high salinity brackish water applications.

- The high flow and high rejection of membrane used in the SW30-380 helps reduce energy costs in the first pass of two-pass seawater systems.
- FILMTEC SW30-380 offers superior economics for desalinating cold water feeds (< 20°C).
- FILMTEC SW30-380 elements deliver high performance without the use of oxidative treatments which is one reason why FILMTEC elements are more durable and may be cleaned more effectively over a wider pH range (1 - 13) than other RO elements.

Product Specifications

Product	Part Number	Active Area ft ² (m ²)	Applied Pressure psig (bar)	Permeate Flow Rate gpd (m ³ /d)	Stabilized Salt Rejection (%)
SW30-380	113853	380 (35)	800 (55)	9,000 (34)	99.4

1. Permeate flow and salt rejection based on the following test conditions: 32,000 mg/L NaCl, pressure specified above, 77°F (25°C) and 10% recovery.
2. Permeate flows for individual elements may vary -15% to +25%.
3. Minimum salt rejection is 98.8%.
4. Sales specifications may vary as design revisions take place.

Figure 1

Product	Dimensions – Inches (mm)		
	A	B	C
SW30-380	40.0 (1,016)	1.125 (29)	7.9 (201)

1. Refer to FilmTec Design Guidelines for multiple-element systems.
2. SW30-380 fits nominal 8.00-inch (203 mm) I.D. pressure vessel.

1 inch = 25.4 mm

Operating Limits

• Membrane Type	Polyamide Thin-Film Composite
• Maximum Operating Temperature	113°F (45°C)
• Maximum Operating Pressure	1,000 psig (69 bar)
• Maximum Pressure Drop	15 psig (1.0 bar)
• pH Range, Continuous Operation ^a	2 - 11
• pH Range, Short-Term Cleaning (30 min.) ^b	1 - 13
• Maximum Feed Silt Density Index	SDI 5
• Free Chlorine Tolerance ^c	< 0.1 ppm

^a Maximum temperature for continuous operation above pH 10 is 95°F (35°C).^b Refer to Cleaning Guidelines in specification sheet 609-23010.^c Under certain conditions, the presence of free chlorine and other oxidizing agents will cause premature membrane failure. Since oxidation damage is not covered under warranty, FilmTec recommends removing residual free chlorine by pretreatment prior to membrane exposure. Please refer to technical bulletin 609-22010 for more information.

Important Information

Proper start-up of reverse osmosis water treatment systems is essential to prepare the membranes for operating service and to prevent membrane damage due to overfeeding or hydraulic shock. Following the proper start-up sequence also helps ensure that system operating parameters conform to design specifications so that system water quality and productivity goals can be achieved.

Before initiating system start-up procedures, membrane pretreatment, loading of the membrane elements, instrument calibration and other system checks should be completed.

Please refer to the application information literature entitled "Start-Up Sequence" (Form No. 609-02077) for more information.

Operation Guidelines

Avoid any abrupt pressure or cross-flow variations on the spiral elements during start-up, shutdown, cleaning or other sequences to prevent possible membrane damage. During start-up, a gradual change from a standstill to operating state is recommended as follows:

- Feed pressure should be increased gradually over a 30-60 second time frame.
- Cross-flow velocity at set operating point should be achieved gradually over 15-20 seconds.
- Permeate obtained from first hour of operation should be discarded.

General Information

- Keep elements moist at all times after initial wetting.
- If operating limits and guidelines given in this bulletin are not strictly followed, the limited warranty will be null and void.
- To prevent biological growth during prolonged system shutdowns, it is recommended that membrane elements be immersed in a preservative solution.
- The customer is fully responsible for the effects of incompatible chemicals and lubricants on elements.
- Maximum pressure drop across an entire pressure vessel (housing) is 50 psi (3.4 bar).
- Avoid permeate-side backpressure at all times.

Notice: The use of this product in and of itself does not necessarily guarantee the removal of cysts and pathogens from water. Effective cyst and pathogen reduction is dependent on the complete system design and on the operation and maintenance of the system.

Notice: No freedom from any patent owned by Seller or others is to be inferred. Because use conditions and applicable laws may differ from one location to another and may change with time, Customer is responsible for determining whether products and the information in this document are appropriate for Customer's use and for ensuring that Customer's workplace and disposal practices are in compliance with applicable laws and other governmental enactments. Seller assumes no obligation or liability for the information in this document. NO WARRANTIES ARE GIVEN; ALL IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY OR FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE ARE EXPRESSLY EXCLUDED.

LENNTECH

info@lennotech.com Tel. +31-152-610-900

www.lennotech.com Fax. +31-152-616-289





FILMTEC™ Membranes

FILMTEC **SW30HR-380** High Rejection Seawater RO Element

Features

The FILMTEC™ SW30HR-380 is a premium grade seawater reverse osmosis element featuring both high active area and high salt rejection to offer the best long-term economics for seawater desalination systems.

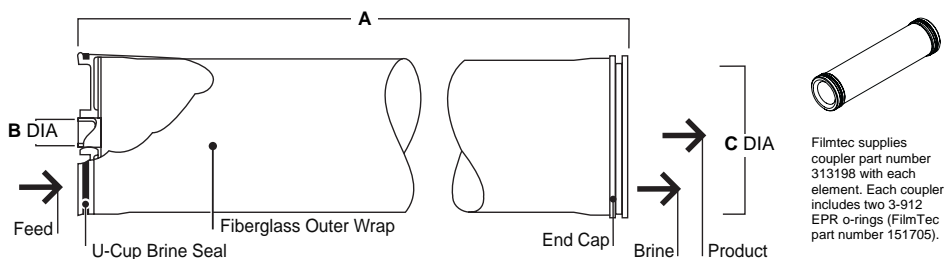
- FILMTEC SW30HR-380 delivers the highest boron rejection to help customers meet World Health Organization (WHO) and other drinking water standards.
- FILMTEC SW30HR-380 elements deliver high performance over their operating lifetime without the use of oxidative post-treatments like many competitive products. This is one reason why FILMTEC elements are more durable and may be cleaned more effectively over a wide pH range than other RO elements.
- Automated, precision fabrication with a greater number of shorter membrane leaves, reduces the overall effect of fouling and maximizes membrane efficiency.

Product Specifications

Product	Part Number	Active Area ft ² (m ²)	Applied Pressure psig (bar)	Permeate Flow Rate gpd (m ³ /d)	Stabilized Salt Rejection (%)
SW30HR-380	135137	380 (35)	800 (55)	6,000 (23)	99.7

1. Permeate flow and salt rejection based on the following test conditions: 32,000 mg/L NaCl, pressure specified above, 77°F (25°C), pH 8 and 8% recovery.
2. Permeate flows for individual elements may vary +/-15%.
3. Minimum salt rejection is 99.6%.
4. Sales specifications may vary as design revisions take place.
5. Feed spacer is 28 mil.

Figure 1



Filmtec supplies coupler part number 313198 with each element. Each coupler includes two 3-912 EPR o-rings (FilmTec part number 151705).

Dimensions – Inches (mm)

Product	A	B	C
SW30HR-380	40.0 (1,016)	1.125 (29)	7.9 (201)

1. Refer to FilmTec Design Guidelines for multiple-element applications and recommended element recovery rates for various feed sources.
 2. SW30HR-380 fits nominal 8.00-inch (203 mm) I.D. pressure vessel.
- 1 inch = 25.4 mm

Operating Limits

• Membrane Type	Polyamide Thin-Film Composite
• Maximum Operating Temperature ^a	113°F (45°C)
• Maximum Operating Pressure	1,000 psig (69 bar) ^d
• Maximum Pressure Drop	15 psig (1.0 bar)
• pH Range, Continuous Operation ^a	2 - 11
• pH Range, Short-Term Cleaning (30 min.) ^b	1 - 13
• Maximum Feed Silt Density Index	SDI 5
• Free Chlorine Tolerance ^c	<0.1 ppm

^a Maximum temperature for continuous operation above pH 10 is 95°F (35°C).

^b Refer to Cleaning Guidelines in specification sheet 609-23010.

^c Under certain conditions, the presence of free chlorine and other oxidizing agents will cause premature membrane failure. Since oxidation damage is not covered under warranty, FilmTec recommends removing residual free chlorine by pretreatment prior to membrane exposure. Please refer to technical bulletin 609-22010 for more information.

^d Operation at pressures up to 1,200 psig (83 bar) is allowable under certain conditions. Consult your Dow representative for advice on applications above 1,000 psig (69 bar).

Important Information

Proper start-up of reverse osmosis water treatment systems is essential to prepare the membranes for operating service and to prevent membrane damage due to overfeeding or hydraulic shock. Following the proper start-up sequence also helps ensure that system operating parameters conform to design specifications so that system water quality and productivity goals can be achieved.

Before initiating system start-up procedures, membrane pretreatment, loading of the membrane elements, instrument calibration and other system checks should be completed.

Please refer to the application information literature entitled "Start-Up Sequence" (Form No. 609-02077) for more information.

Operation Guidelines

Avoid any abrupt pressure or cross-flow variations on the spiral elements during start-up, shutdown, cleaning or other sequences to prevent possible membrane damage. During start-up, a gradual change from a standstill to operating state is recommended as follows:

- Feed pressure should be increased gradually over a 30-60 second time frame.
- Cross-flow velocity at set operating point should be achieved gradually over 15-20 seconds.
- Permeate obtained from first hour of operation should be discarded.

General Information

- Keep elements moist at all times after initial wetting.
- If operating limits and guidelines given in this bulletin are not strictly followed, the limited warranty will be null and void.
- To prevent biological growth during prolonged system shutdowns, it is recommended that membrane elements be immersed in a preservative solution.
- The customer is fully responsible for the effects of incompatible chemicals and lubricants on elements.
- Maximum pressure drop across an entire pressure vessel (housing) is 50 psi (3.4 bar).
- Avoid permeate-side backpressure at all times.

LENNTECH

info@lenntech.com Tel. +31-152-610-900

www.lenntech.com Fax. +31-152-616-289

Notice: The use of this product in and of itself does not necessarily guarantee the removal of cysts and pathogens from water. Effective cyst and pathogen reduction is dependent on the complete system design and on the operation and maintenance of the system.

Notice: No freedom from any patent owned by Seller or others is to be inferred. Because use conditions and applicable laws may differ from one location to another and may change with time, Customer is responsible for determining whether products and the information in this document are appropriate for Customer's use and for ensuring that Customer's workplace and disposal practices are in compliance with applicable laws and other governmental enactments. Seller assumes no obligation or liability for the information in this document. NO WARRANTIES ARE GIVEN; ALL IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY OR FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE ARE EXPRESSLY EXCLUDED.





FILMTEC™ Membranes

FILMTEC **XLE-440** Extra Low Energy RO Element

Features

The FILMTEC™ XLE-440 is an extra low energy, high productivity brackish water reverse osmosis element designed to deliver high quality water at low operating costs for municipal and industrial water applications. Its high active area design coupled with the highly productive XLE membrane makes FILMTEC XLE-440 the lowest pressure RO element – resulting in lower energy costs.

- XLE-440 will operate in many systems at less than half the feed pressure of a standard high rejection RO element and at up to 30% less pressure than other low energy membranes, resulting in lifetime energy savings greater than 100% of the initial membrane investment.
- With 440 square feet (41 square meters) of active membrane area, the FILMTEC XLE-440 element gives system designers the option of designing a system with fewer membrane elements, requiring lower capital expenditures for membranes and components.
- Automated, precision fabrication allows for the industry's highest active membrane area without compromising the thickness of the feed spacer, resulting in less fouling, less cleaning downtime and lower operating costs than competitive products using thinner spacers.
- XLE-440 is perfectly suited for cold water feeds as the element's high productivity will deliver lower energy costs and/or higher permeate flow.

Product Specifications

Product	Part Number	Nominal Active Area ft ² (m ²)	Applied Pressure psig (bar)	Permeate Flow Rate gpd (m ³ /d)	Stabilized Salt Rejection
XLE-440	101060	440 (41)	100 (6.9)	12,700 (48)	99.0%

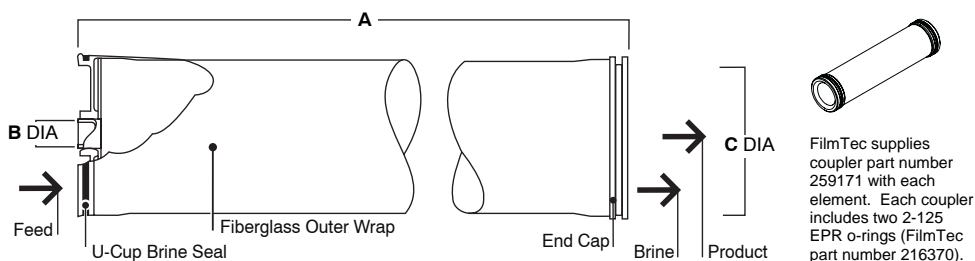
1. Permeate flow and salt rejection based on the following test conditions: 500 ppm NaCl, pressure specified above, 77°F (25°C) and 15% recovery.

2. Permeate flows for individual elements may vary +25/-15%.

3. Minimum stabilized salt rejection is 98.0%.

4. The above specifications are benchmark values. Please be sure to operate according to system design guidelines.

Figure 1



Dimensions – Inches (mm)			
Product	A	B	C
XLE-440	40.0 (1,016)	1.50 (38)	7.9 (201)

5. Refer to FilmTec Design Guidelines for multiple-element systems.

6. XLE-440 fits nominal 8-inch (203 mm) I.D. pressure vessel.

Operating Limits

• Membrane Type	Polyamide Thin-Film Composite
• Maximum Operating Temperature	113°F (45°C)
• Maximum Operating Pressure	600 psig (41 bar)
• Maximum Pressure Drop	15 psig (1.0 bar)
• pH Range, Continuous Operation ^a	2 - 11
• pH Range, Short-Term Cleaning (30 min.) ^b	1 - 13
• Maximum Feed Silt Density Index (SDI)	SDI 5
• Free Chlorine Tolerance ^c	< 0.1 ppm

^a Maximum temperature for continuous operation above pH 10 is 95°F (35°C).

^b Refer to Cleaning Guidelines in specification sheet 609-23010.

^c Under certain conditions, the presence of free chlorine and other oxidizing agents will cause premature membrane failure. Since oxidation damage is not covered under warranty, FilmTec recommends removing residual free chlorine by pretreatment prior to membrane exposure. Please refer to technical bulletin 609-22010 for more information.

Important Information

Proper start-up of reverse osmosis water treatment systems is essential to prepare the membranes for operating service and to prevent membrane damage due to overfeeding or hydraulic shock. Following the proper start-up sequence also helps ensure that system operating parameters conform to design specifications so that system water quality and productivity goals can be achieved.

Before initiating system start-up procedures, membrane pretreatment, loading of the membrane elements, instrument calibration and other system checks should be completed.

Please refer to the application information literature entitled "Start-Up Sequence" (Form No. 609-02077) for more information.

Operation Guidelines

Avoid any abrupt pressure or cross-flow variations on the spiral elements during start-up, shutdown, cleaning or other sequences to prevent possible membrane damage. During start-up, a gradual change from a standstill to operating state is recommended as follows:

- Feed pressure should be increased gradually over a 30-60 second time frame.
- Cross-flow velocity at set operating point should be achieved gradually over 15-20 seconds.
- Permeate obtained from first hour of operation should be discarded.

General Information

- Keep elements moist at all times after initial wetting.
- If operating limits and guidelines given in this bulletin are not strictly followed, the limited warranty will be null and void.
- To prevent biological growth during prolonged system shutdowns, it is recommended that membrane elements be immersed in a preservative solution.
- The customer is fully responsible for the effects of incompatible chemicals and lubricants on elements.
- Maximum pressure drop across an entire pressure vessel (housing) is 50 psi (3.4 bar).
- Avoid static permeate-side backpressure at all times.

Notice: The use of this product in and of itself does not necessarily guarantee the removal of cysts and pathogens from water. Effective cyst and pathogen reduction is dependent on the complete system design and on the operation and maintenance of the system.

Notice: No freedom from any patent owned by Seller or others is to be inferred. Because use conditions and applicable laws may differ from one location to another and may change with time, Customer is responsible for determining whether products and the information in this document are appropriate for Customer's use and for ensuring that Customer's workplace and disposal practices are in compliance with applicable laws and other governmental enactments. Seller assumes no obligation or liability for the information in this document. NO WARRANTIES ARE GIVEN; ALL IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY OR FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE ARE EXPRESSLY EXCLUDED.



Data Sheet



Seawater Reverse Osmosis (RO) Membranes LG SW 440 GR

Overview

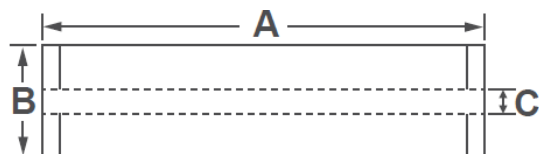
LG Chem's NanoH₂O™ seawater RO membranes, incorporated with innovative Thin Film Nanocomposite (TFN) technology, reduce the cost of desalination while delivering superior water quality. Our seawater RO membranes provide industry leading salt rejection and produce 20% more flow than membranes manufactured with conventional technologies. We continue to leverage the technological advantages of our seawater RO membranes to expand our market share, accruing more than 3,000 Million Liter per Day (MLD) projects for both new and replacement market since the establishment.

LG SW GR (Great Rejection) membranes offer a combination of high rejection and low energy requirements to reduce the total cost of desalination; suitable for high salinity seawater applications.

Product Specifications

Active Membrane Area, ft ² (m ²)	Permeate Flow Rate, GPD (m ³ /d)	Stabilized Salt Rejection, %	Minimum Salt Rejection, %	Boron Rejection, %	Feed Spacer, mil
440 (41)	8,250 (31.2)	99.85	99.7	93	28

Test Conditions : 32,000 ppm NaCl, 5 ppm boron at 25°C (77°F), 800 psi (55 bar), pH 8, Recovery 8%.
Permeate flows for individual elements may vary +/-15%.



A, mm (in.)	B, mm (in.)	C, mm (in.)	Weight, kg (lbs.)
1,016 (40)	200 (7.9)	28.6 (1.125)	16 (35)

All dimensional information is indicative and for reference purpose only. Please contact LG Chem for detailed technical specification.

Operating Specifications

For more information and operating guidelines, visit www.lgwatersolutions.com

Max. Applied pressure	1,200 psi (82.7 bar)
Max. Chlorine concentration	< 0.1 ppm
Max. Operating temperature	45°C (113°F)
pH Range, Continuous (Cleaning)	2-11 (2-13)
Max. Feedwater turbidity	1.0 NTU
Max. Feedwater SDI (15 mins)	5.0
Max. Feed flow	75 gpm (17 m ³ /h)
Min. Ratio of concentrate to permeate flow for any element	5 : 1
Max. Pressure drop (ΔP) for each element	15 psi (1.0 bar)

The Membrane Elements performance is expressly conditioned on Buyer's storing, installing, operating, and maintaining Product in accordance with industry-accepted good practices and Seller's written instructions provided in the Seller's Technical Manual, which consists of LG Chem, Ltd [Technical Service Bulletins \("TSB"\)](#) and [Technical Applications Bulletins \("TAB"\)](#) and may be viewed and downloaded at www.lgwatersolutions.com.

The information and data contained herein are deemed to be accurate and reliable and are offered in good faith, but without guarantee of performance. LG Chem assumes no liability for results obtained or damages incurred through the application of the information contained herein. Customer is responsible for determining whether the products and information presented herein are appropriate for the customer's use and for ensuring that customer's workplace and disposal practices are in compliance with applicable laws and other governmental enactments. Specifications subject to change without notice. NanoH₂O is the Trademark of The LG Water Solutions or an affiliated company of LG Chem. All rights reserved. © LG Chem, Ltd.

Data Sheet



Seawater Reverse Osmosis (RO) Membranes LG SW 400 R

Overview

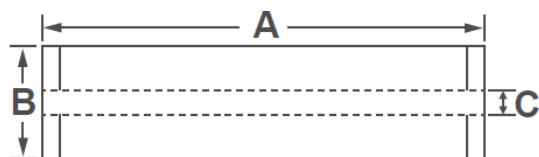
LG Chem's NanoH₂O™ seawater RO membranes, incorporated with innovative Thin Film Nanocomposite (TFN) technology, reduce the cost of desalination while delivering superior water quality. Our seawater RO membranes provide industry leading salt rejection and produce 20% more flow than membranes manufactured with conventional technologies. We continue to leverage the technological advantages of our seawater RO membranes to expand our market share, accruing more than 3,000 Million Liter per Day (MLD) projects for both new and replacement market since the establishment.

LG SW R (High Rejection) membranes offer a combination of high rejection and low energy requirements to reduce the total cost of desalination; suitable for medium to high salinity seawater applications.

Product Specifications

Active Membrane Area, ft ² (m ²)	Permeate Flow Rate, GPD (m ³ /d)	Stabilized Salt Rejection, %	Minimum Salt Rejection, %	Boron Rejection, %	Feed Spacer, mil
400 (37)	9,000 (34.1)	99.85	99.7	93	28 or 34

Test Conditions : 32,000 ppm NaCl, 5 ppm boron at 25°C (77°F), 800 psi (55 bar), pH 8, Recovery 8%.
Permeate flows for individual elements may vary +/-15%.



A, mm (in.)	B, mm (in.)	C, mm (in.)	Weight, kg (lbs.)
1,016 (40)	200 (7.9)	28.6 (1.125)	16 (35)

All dimensional information is indicative and for reference purpose only. Please contact LG Chem for detailed technical specification.

Operating Specifications

For more information and operating guidelines, visit www.lgwatersolutions.com

Max. Applied pressure	1,200 psi (82.7 bar)
Max. Chlorine concentration	< 0.1 ppm
Max. Operating temperature	45°C (113°F)
pH Range, Continuous (Cleaning)	2-11 (2-13)
Max. Feedwater turbidity	1.0 NTU
Max. Feedwater SDI (15 mins)	5.0
Max. Feed flow	75 gpm (17 m ³ /h)
Min. Ratio of concentrate to permeate flow for any element	5 : 1
Max. Pressure drop (ΔP) for each element	15 psi (1.0 bar)

The Membrane Elements performance is expressly conditioned on Buyer's storing, installing, operating, and maintaining Product in accordance with industry-accepted good practices and Seller's written instructions provided in the Seller's Technical Manual, which consists of LG Chem, Ltd [Technical Service Bulletins \("TSB"\)](#) and [Technical Applications Bulletins \("TAB"\)](#) and may be viewed and downloaded at www.lgwatersolutions.com.

The information and data contained herein are deemed to be accurate and reliable and are offered in good faith, but without guarantee of performance. LG Chem assumes no liability for results obtained or damages incurred through the application of the information contained herein. Customer is responsible for determining whether the products and information presented herein are appropriate for the customer's use and for ensuring that customer's workplace and disposal practices are in compliance with applicable laws and other governmental enactments. Specifications subject to change without notice. NanoH₂O is the Trademark of The LG Water Solutions or an affiliated company of LG Chem. All rights reserved. © LG Chem, Ltd.

5. DATASHEET ERI PX PT1800



PX PowerTrain

System

The PX PowerTrain™ line of pre-engineered energy recovery solutions combine Energy Recovery's award-winning PX® Pressure Exchanger® (PX) devices with frame support and ancillary equipment into a compact, ready to install high-performance energy recovery device (ERD) array package for your seawater reverse osmosis (SWRO) train. Designed by Energy Recovery's technical experts, the PX PowerTrain combines optimized flow paths with our core PX technology to streamline ERD array installation while maintaining industry-leading quality standards.

Each PX PowerTrain model is designed according to Energy Recovery's strict guidelines for PX operation and performance optimization. Each model accommodates a wide range of system conditions to accommodate fluctuations in operating parameters and production demand, which provides unmatched flexibility in a compact, ready-to-install package.

These pre-engineered designs, optimized for various SWRO train capacities, allow you to save time and resources through the purchase of one product from a single trusted supplier and streamlined installation with just four connection points.

The PX PowerTrain can be combined with Energy Recovery's SWRO pumps for an end-to-end pumping and ERD solution.

PX PowerTrain BENEFITS






- When coupled with our SWRO pumps, a complete end-to-end ERD solution
- Pre-designed ERD and frame support for ease of installation
- Designed according to Energy Recovery guidelines to ensure optimal PX operation
- Work with a single trusted supplier from design to installation

Product FEATURES

- Includes our award winning PX Pressure Exchanger technology
- Train production capacity starting from 3000 CMD
- On-site commissioning support available
- Compact and rugged structural support for PX Pressure Exchanger
- 3D models available for easy integration into plant design



THE PX POWERTRAIN PRODUCT LINE

Model	Flow Capacity	Nominal SWRO Train Capacity*	Manifold Size	Material	Design Layout	
PX PT1200	m3/h: 182 – 273	CMD: 4,000	LP: 8 inch DN200	LP: Polypropylene	Train	
	GPM: 800 – 1200	MGD: 1.05	HP: 8 inch DN200	HP: Superduplex	U-flow	
PX PT1500	m3/h: 227 – 340	CMD: 5,000	LP: 8 inch DN200	LP: Polypropylene	Train	
	GPM: 1000 – 1500	MGD: 1.32	HP: 8 inch DN200	HP: Superduplex	U-flow	
PX PT1800	m3/h: 273 – 410	CMD: 6,000	LP: 10 inch DN250	LP: Polypropylene	Train	
	GPM: 1200 – 1800	MGD: 1.58	HP: 10 inch DN250	HP: Superduplex	U-flow	
PX PT2400	m3/h: 363 – 545	CMD: 8,000	LP: 10 inch DN250	LP: Polypropylene	Cell	
	GPM: 1600 – 2400	MGD: 2.11	HP: 10 inch DN250	HP: Superduplex	U-flow	
PX PT3000	m3/h: 455 – 682	CMD: 10,000	LP: 12 inch DN300	LP: Polypropylene	Cell	
	GPM: 2000 – 3000	MGD: 2.64	HP: 10 inch DN250	HP: Superduplex	U-flow	

* Based on PX system mid flow and 43% recovery rate



<<< **OPTIONAL VPXP CIRCULATION PUMP**

For more information on our products please visit energyrecovery.com